

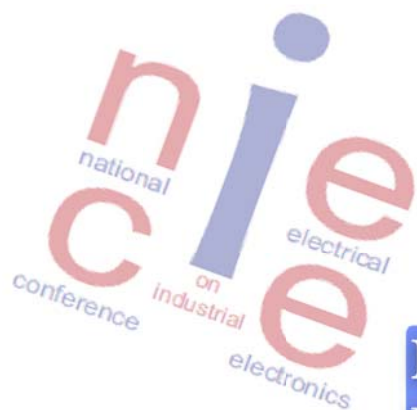


**The 3<sup>rd</sup> National Conference**

**On Industrial Electrical and Electronics**

# **P R O C E E D I N G S**

**Cilegon, 28-29 October 2014**



**Department of Electrical Engineering  
University of Sultan Ageng Tirtayasa**



## **Susunan Panitia**

### ➤ **Penanggung Jawab**

Ketua Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### ➤ **Pengarah**

Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### ➤ **Ketua Pelaksana**

Anggoro Suryo Pramudyo

### ➤ **Komite Program**

- Dr. Eng. Wahyu Widada, M.Sc. (LAPAN)
- Prof. Dr. Ir. Kudang Boro Seminar, M.Sc. (IPB)
- Prof. Dr. Salama Manjang, M.T. (UNHAS)
- Dr. Alimuddin, M.M., M.T. (UNTIRTA)
- Yus Rama Denny, M.Si., Ph.D. (UNTIRTA)
- Ir. Wahyuni Martiningsih, M.T. (UNTIRTA)
- Muhammad Iman Santoso, S.T., M.Sc. (UNTIRTA)
- Romi Wiryadinata, S.T., M.Eng. (UNTIRTA)
- Supriyanto, S.T., M.Sc. (UNTIRTA)

### ➤ **Komite Pelaksana**

- Suhendar
- Siswo Wardoyo
- Herudin
- Imamul Muttaqin
- Teguh Firmansyah
- Rocky Alfan
- Rian Fahrizal
- Andri Suherman
- Ri Munarto
- M. Otong
- Heri Haryanto
- Alief Maulana
- Yeni Apriyeni

**Diterbitkan oleh:**

**Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**  
**Jl. Jend. Sudirman KM.3 Cilegon, Banten**  
**Phone: 0254-395502, 376712 Fax: 0254-395440**  
**<http://nciee.elektro.untirta.ac.id> - <http://elektro.untirta.ac.id>**

## **Sambutan Ketua Pelaksana**

### **The 3<sup>rd</sup> National Conference on Industrial Electrical and Electronics**

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur ke hadirat Alloh SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Seminar Nasional *Call Papers The 3<sup>rd</sup> National Conference on Industrial Electrical and Electronics* (NCIEE) di Hotel Nuasa Bali Anyer pada tanggal 28-29 Oktober 2014 dapat berlangsung.

Seminar Nasional NCIEE Tahun 2014 merupakan Seminar Nasional ke-3 yang dilaksanakan oleh Jurusan Teknik Elektro (JTE) Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) Banten. Kegiatan ini menjadi agenda dua tahunan JTE UNTIRTA. Seminar Nasional NCIEE tahun ini bertepatan dengan perayaan ulang tahun JTE UNTIRTA yang ke-30 (1984-2014), tepatnya pada tanggal 28 Oktober. Tema Seminar Nasional NCIEE ke-3 kali ini adalah **"Peningkatan Peran Riset Perguruan Tinggi Teknik Elektro Dalam Upaya Mewujudkan Ketahanan Energi dan Kawasan Industri Ramah Lingkungan"**. Kegiatan ini diadakan dan diselenggarakan guna mewadahi para akademisi, peneliti, praktisi, dan pengguna teknologi di seluruh Indonesia yang melakukan penelitian untuk mempublikasikan hasilnya.

Sampai dengan batas waktu yang telah ditentukan, Panitia telah menerima makalah sebanyak empat puluh makalah yang telah lolos seleksi dan dinyatakan layak untuk dipublikasikan. Makalah tersebut meliputi bidang ilmu dalam ruang lingkup rumpun Teknologi, yaitu bidang Sistem Ketenagalistrikan, Instrumentasi dan Kendali, Elektronika, Telekomunikasi, Teknik Komputer, Informatika, Energi serta Teknologi dan Sistem Informasi. Makalah yang layak untuk dipresentasikan dalam kegiatan seminar NCIEE ke-3 ini merupakan hasil penelitian dari berbagai Perguruan Tinggi dan Instansi di Indonesia.

Panitia Seminar Nasional NCIEE ke-3 mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Komite Program, Panitia Pelaksana, Pembicara Utama, Dosen-Dosen dan Para Mahasiswa JTE UNTIRTA, Pemerintahan Banten, Para Sponsor, dan Para Peserta Pemakalah yang telah bekerja keras, bekerja sama, berpartisipasi, dan memberikan dukungannya sehingga acara ini dapat terlaksana dan berjalan lancar.

Akhirnya, kami Panitia mengucapkan selamat datang kepada Para Pemakalah dan Peserta di JTE UNTIRTA di Lokasi Wisata Anyer Provinsi Banten. Mohon maaf apabila banyak kekurangannya dari acara ini. Semoga Alloh SWT selalu memberikan Rakhmat, Hidayah, dan Berkah-Nya kepada kita. Aamiin

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Cilegon, 28 Oktober 2014  
Ketua Pelaksana,

Anggoro Suryo Pramudyo, M.Kom.

## Daftar Isi

Analisis Kinerja Model Pengontrol Ekson DNA Menggunakan Metode Model Hidden Markov Suhartati Agoes, Binti Solihah, Alfred Pakpahan	1
Desain Protokol Jaringan untuk Komunikasi Multimedia melalui WiMAX Suherman, Naemah Mubarakah	7
Prototipe Website untuk Sajian Informasi Profil Desa Binaan Universitas Negeri Gorontalo sebagai salah satu Implementasi Pengembangan Tridharma Perguruan Tinggi Amirudin Y. Dako, Rahmat Deddy Rianto Dako, Jumiati Ilham	10
Prototipe ATG sebagai Alat Ukur Volum, Suhu dan Massa Jenis pada Tangki Timbun BBM Romi Wiryadinata, Wyman Firmansyah Putra, Alimuddin	19
Implementasi Automatic Packet Reporting System (APRS) Untuk Paket Data Pemantauan dan Pengukuran Arief Goeritno, Rakhmad Yatim, dan Dwi Jatmiko Nugroho	27
Sistem Klasifikasi Jenis Kendaraan Melalui Teknik Olah Citra Digital Bagus Pribadi, Muchammad Naseer	35
Remote Terminal Unit (RTU) SCADA Pada Jaringan Tegangan Menengah 30 KV Didik Aribowo, M.Otong, Radiyahanto	39
Kemudahan Pemrograman Mikrokontroler Arduino Pada Aplikasi Wahana Terbang Effendi Dodi Arisandi	45
Prototipe Rele Proteksi Overheating pada Motor 1 Phasa Berbasis Mikrokontroler AT89C51 Endi Permata	49
Potensi Hybrid Energy di Kabupaten Bone Bolango dan Kabupaten Gorontalo Ervan Hasan Harun, Jumiati Ilham, dan Lanto Mohamad Kamil Amali	58
Perancangan Voltage Control Oscillator untuk Tower Set pada Frekuensi 118 MHz – 137 MHz Feti Fatonah, David Octa Rengga	63
Analisa Pengaruh Arus Gangguan Terhadap Tegangan Induksi dan Isolasi Pada Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 kV Herudin, Andri Suherman, Aris Munandar	67

Rancangan Low Noise Amplifier Subsistem Receiver Peralatan DME Feti Fatonah, Hamestuti Hanggana Raras	72
Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segi Empat Frekuensi 3,3 GHz Untuk Aplikasi WiMAX Herudin, Alimuddin	75
Perancangan Collpits Oscillator Frekuensi 1 MHz dengan Resistansi Negatif pada Peralatan NDB Tipe ND 200 Iga Ayu Mas Oka, Esti Handarbeni	79
Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Dengan Memanfaatkan Saluran Irigasi Di Desa Kadu Beureum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang Heri Haryanto, Dedy Susanto, Rian Fahrizal	84
Klasifikasi Fase Plasmodiumfalcifarum dalam Sel Darah Merah dengan Support Vector Machine (SVM) Menggunakan Weka Evi Nuralita, Ri Munarto, Endi Permata	94
Perancangan RF Amplifier pada Frekuensi 124 MHz untuk Peralatan Tower Set Bandar Udara Juanda Surabaya Iga Ayu Mas Oka, Nurwahyuni Kurnia Sari Hariyadi	104
Karakteristik Potensi Energi Surya dan Energi Angin Pada Lahan Potensial Agropolitan yang Belum Dimanfaatkan Lanto Mohamad Kamil Amali, Yasin Mohamad, dan Ervan Hasan Harun	107
Perbandingan Kinerja Metode Penggabungan MAC-Physical Layer Sistem LMDS pada Kanal Gelombang Milimeter Naemah Mubarakah, Suherman, Yulianta Siregar, Arman Sani	111
Rancangan Band Pass Filter Pada Komunikasi VHF Air To Ground di Bandara Budiarto dengan menggunakan Komponen Lumped Orde Tiga Iga Ayu Mas Oka, I Komang Aditya Prawirayana	116
Triple Band Frequency Using Slit Technique Rectangular Microstrip Antenna For Wimax Application Syah Alam	121
Perancangan dan Unjuk Kerja Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Untuk Aplikasi Wi-Fi & LTE Herudin, Azza Aghniya	125

Kalibrasi Sensor Gyroscope Dengan Multigain Sebagai Sensor Rotasi Pada Roket Menggunakan Gui Labview	136
Priswanto, Oyas Wahyunggoro, Wahyu Widada, Romi Wiryadinata	
Ujicoba VOIP Softphone Pada Mobile Phone Android Dan Komputer Melalui Jaringan Wireless Lan	142
Heri Andrianto, Daniel Setiadikarunia, Richard	
Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Atap Gedung Kota Surabaya: Studi Kasus Gedung Perkuliahan	150
Rasional Sitepu, Albert Gunadhi	
Analisa Denyut Nadi Dengan Memanfaatkan Bentuk Pulse Wave Untuk Indikasi Awal Penyakit Diabetes	155
Rocky Alfan, Muhammad Fahlevi Firdaus	
Mould Level Control Pada Continuous Casting Machine	160
Siswo Wardoyo, Yulie Rachmadita, Freddy Kurniawan	
Desain RF Buffer Amplifier Pada Exciter ILS Glidepath Frekuensi 328,6 MHz – 335,4 MHz	167
Toni, Ester Mella	
Studi Awal Pengembangan dan Pengolahan Mineral Indonesia sebagai Bahan Thermistor	171
Yus Rama Denny, Andri Suherman, Dani Gustaman	
Perancangan dan Analisis Transformator Zero Sequence Blocking untuk Mengurangi Arus Harmonisa Urutan Nol pada Sistem Distribusi Daya Tiga Phasa Empat Kawat	176
Zulkarnaen Pane, Syiska Yana	
Pengujian Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	182
Heri Haryanto, Angga Priyatna, Ri Munarto	
Evaluasi Kinerja Internet Protocol Television Melalui Jaringan Overlay	188
Supriyanto, Muhammad F. Alfath, Suhendar	
Rancang Bangun Generator Sinyal Frekuensi Radio untuk Terapi Kanker Hepatocellular Carcinoma	193
Gunawan Wibisono, Suryo Adi Pribadi	
Analisa Kondisi Generator Transformer Menggunakan Metode Thermography	198
H.Alief Maulana, Didik Aribowo, Inawati	

- Penerapan Static Var Compensation Untuk Perbaikan Faktor Daya dan Distorsi Harmonisa Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik di PT Krakatau Steel Cold Rolling Mill 203**  
Suhendar, Nofri Ardella
- Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Serta Estimasi Jatuh Tegangan Pada Jaringan Tegangan Rendah 208**  
Alimuddin, Suhendar, Herudin, Teguh Firmansyah, Roni Sachroni
- Simulasi Studi Aliran Daya di Sistem Jaringan Sumbagut 150 KV dengan Menggunakan Powerworld 214**  
Surya Tarmizi Kasim, Yulianta Siregar, Adly Lidya
- Studi Aliran Daya Pada Sistem Kelistrikan Sumbagut 150 kV Dengan Menggunakan Software Powerworld Simulator Versi 17 219**  
Yulianta Siregar, Surya Tarmizi Kasim, Adly Lidya
- Penerapan Power Line Communication Pada Sistem Monitoring, Controlling, dan Data Communication Melalui Sistem Kelistrikan 220 Volt AC 224**  
Faris, Suhendar, Anggoro Suryo Pramudyo

# Analisis Kinerja Model Pengontrol Ekson DNA Menggunakan Metode Model Hidden Markov

Suhartati Agoes<sup>1</sup>, Binti Solihah<sup>2</sup>, Alfred Pakpahan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dosen tetap Jurusan Teknik Elektro, FTI Usakti. Tlp 021-566-3232 ext 8429;

<sup>2</sup>Dosen tetap Jurusan Teknik Informatika, FTI Usakti. Tlp 021-566-3232 ext 8436;

<sup>3</sup>Dosen tetap Biologi FKG Usakti. Tlp 021-5672731 ext 6104;

e-mail: <sup>1</sup>sagoes@trisakti.ac.id; <sup>2</sup>binti\_76@yahoo.com; <sup>3</sup>alfred@trisakti.ac.id

**Abstract**—Deoxyribo nucleic acid (DNA) sequences which has several sections exons in the coding sequence (cds) is an important part in the biological process to produce the protein. The aim of this study is to control the exons of DNA that are on cds by using Hidden Markov Models (HMM) so that protein produced is not changed. HMM methods have parameters for example; state, the value of the transition state, the base emission state and the algorithm that are used for training and testing process. The value of the transition state is randomly determined range of values between 0~1. The implementation of the HMM in exon controller has a 20-state model structure and simulation tests performed using the value of the transition state and the number of different sequences. The simulation process with the 20-state model structure is produces value of performance model with Correlation Coefficient (CC) is 0.7571 by using of 220 sequences. This study increasing the CC value by clustering the data and the result are 0.8808 for sub model with 69 sequences and 0.8183 with 157 sequences.

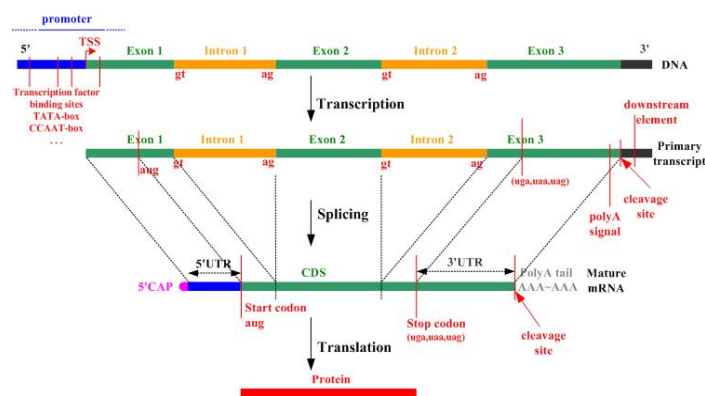
**Key-word:** DNA, Exon, Coding sequence, Correlation Coefficient

## I. PENDAHULUAN

Deoxyribo Nucleic Acid (DNA) memiliki 4 macam basa nitrogen yaitu Adenin (A), Sitosin (C), Guanin (G) dan Timin (T). Keempat macam basa nitrogen ini menyusun DNA secara berpasangan, Guanin hanya dapat berpasangan dengan Sitosin atau sebaliknya, sedangkan Adenin dengan Timin atau sebaliknya, struktur ini dalam dogma DNA di kenal sebagai DNA *double helix*.

Pada DNA terdapat rangkaian basa-basa penyandi yang disebut dengan ekson dan rangkaian basa-basa bukan penyandi protein atau disebut dengan intron, dimana ekson atau kodon dapat ditranslasi menjadi protein atau asam amino, sedangkan intron harus dihilangkan saat dilakukan proses translasi menjadi protein. Struktur gen *eukariot* memiliki rangkaian-rangkaian penyandi atau ekson yang diselingi oleh rangkaian-rangkaian bukan penyandi atau intron. Ekson atau kodon dapat ditranslasi menjadi protein atau asam amino, sedangkan intron harus dihilangkan saat dilakukan proses ditranslasi menjadi protein. Struktur gen *eukariot* memiliki rangkaian-rangkaian penyandi atau

ekson yang diselingi oleh rangkaian-rangkaian bukan penyandi atau intron seperti dijelaskan pada Gambar 1 [1].



Gambar 1. Struktur gen eukariot.

Pada Gambar 1 diatas dapat pula diketahui letak ekson dan intorn sekuen DNA yang letaknya bergantian (*alternatively location*) dan melalui proses transkripsi, dan translasi maka ekson pada cds dapat menjadi protein. Penelitian ini untuk mengontrol ekson cds sekuen DNA karena bila ekson cds berubah maka protein yang dihasilkan akan berubah pula.

Pemrosesan sinyal genom seperti DNA dan basa- protein dengan menggunakan teknologi digital membuat basa DNA dan asam amino yang membentuk protein dapat di asumsikan sebagai karakter *string* (huruf-huruf alpabet) sehingga dapat di manipulasi menjadi bit-bit 1 dan 0. Pemrosesan sinyal genom seperti DNA dengan berbantuan komputer menyebabkan terjadinya *overload* data yang mengakibatkan dikembangkannya berbagai metode untuk memprediksi langsung daerah penyandi (ekson).

Sampai saat ini telah dikenal dua puluh macam asam amino sebagai bahan dasar untuk protein yang terbentuk dari urutan tiga basa yang memberikan kode untuk satu asam amino, maka terjadi  $4^3 = 64$  kemungkinan kombinasi dari nukleotida sehingga menghasilkan 64 macam kelompok nukleotida [2].

## II. METODE MODEL HIDDEN MARKOV

*Hidden Markov Model* (HMM) merupakan suatu model statistik yang digunakan untuk membuat karakteristik suatu frame sinyal DNA yang dapat di karakterisasi sebagai suatu



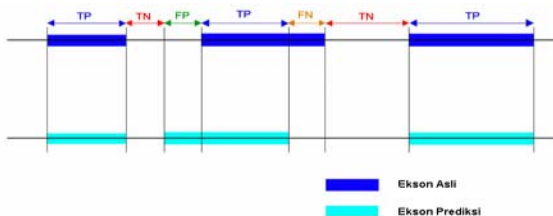
representasi proses random parametrik. Beberapa garis besar dalam penggunaan metode HMM adalah seperti rantai Markov, elemen HMM, *training* dan *testing* HMM [3,4,5]. Pada penelitian ini menggunakan metode HMM untuk menganalisis dan mengontrol ekson DNA yang terdapat pada *coding sequence* (cds) sehingga perubahan urutan nukleotida pada ekson dapat diketahui [6]. Oleh karena itu metode ini sesuai dengan karakteristik suatu sekuen DNA dan sebagai kinerja dari model hidden Markov ini adalah nilai *Correlation Coefficient* (CC) dan diperoleh dari persamaan (1).

$$CC = \frac{(TP \cdot TN) - (FP \cdot FN)}{\sqrt{(TP + FN) \cdot (TN + FP) \cdot (TP + FP) \cdot (TN + FN)}} \quad (1)$$

dimana:

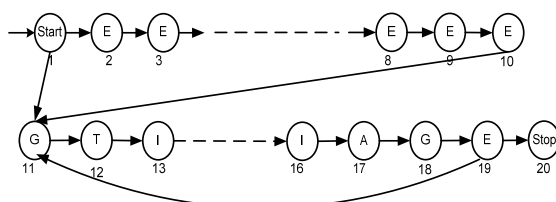
TP = True Positive; TN = True Negative; FP = False Positive; FN = False Negative.

Sebagai ilustrasi parameter-parameter TP (True Positive), TN (True Negative), FP (False Positive) dan FN (False Negative) di dalam mendapatkan nilai CC dapat di jelaskan seperti Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Ilustrasi TP, TN, FP dan FN.

Basa-basa ekson pada cds di dalam implementasi model hidden Markov dapat di bentuk menjadi state di dalam struktur model [6,7,8]. Pada penelitian ini struktur model yang digunakan berjumlah 20 stste dengan state pertama berisi basa-basa ATG dari bagian ekson pertama dan state terakhir adalah salah satu dari ketiga kodon stop yaitu bisa TAA atau TAG atau TGA. Struktur model hidden Markov dengan 20 state tersebut dapat di gambarkan secara umum seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur model HMM untuk 20 state.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Identifikasi model berbasis HMM yang menghasilkan kinerja model lebih baik untuk pengontrol ekson, diharapkan dapat berlaku umum untuk semua sekuen, Pada penelitian ini dilakukan ujicoba lebih lanjut pada model yang sudah dikembangkan pada penelitan sebelumnya yaitu dengan melakukan pengelompokkan data [9]. Pengujian kehandalan model dilakukan dengan cara menambahkan data dan mengidentifikasi kehandalan model yang dibuat dengan menghitung nilai CC. Hasil evaluasi pada tahap 1 menghasilkan sebuah hipotesa, keragaman data menyebabkan kegagalan proses generalisasi pada model yang terbentuk sehingga pengelompokan data akan menghasilkan kehandalan yang lebih baik. Berdasarkan hipotesa tersebut, pada langkah selanjutnya dilakukan pembentukan sub-sub model dengan cara membagi data dengan memperhatikan luaran model sebelumnya. Selanjutnya sub-sub model tersebut dihitung nilai CC nya untuk menunjukkan performa sub model.

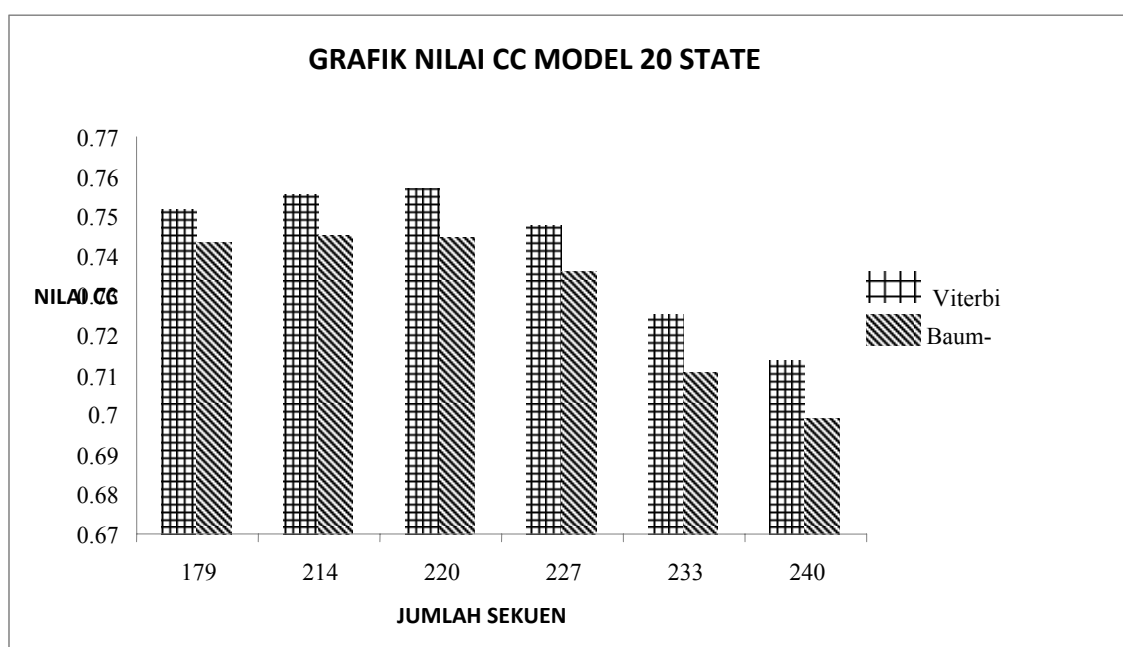
Perangkat ujicoba simulasi ini terdiri dari input sekuen DNA *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax* dan *Plasmodium knowlesi* dengan panjang basa sekuen minimum 684 pasang basa atau basepair (bp) dan maksimum 10095 bp yang di unduh dari situs <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/> [2] dengan kriteria sekuen yang dapat di proses untuk ujicoba yaitu hanya memiliki satu cds yang dimulai dengan satu kodon start pada bagian ekson pertama dan di akhiri dengan salah satu kodon stop pada akhir bagian ekson terakhir (bukan merupakan sekuen partial) dan sekuen bukan *pseudogene*. Sedangkan sebagai perangkat keras adalah sebuah notebook dengan RAM 4GB, processor AMB A8, sedangkan Bahasa pemrograman menggunakan Matlab versi 2012 a. Proses training dan testing menggunakan algoritma Viterbi dan Baum-Welch.

### IV. HASIL SIMULASI

Proses simulasi dilakukan untuk beberapa kali ujicoba dengan menggunakan nilai-nilai transisi state yang berbeda-beda dan jumlah sekuen DNA sebagai input ditambahkan tahap demi tahap dengan maksimal berjumlah 240 sekuen. Struktur model yang diimplementasikan terhadap metode HMM ini mempunyai jumlah state 20 dan hasil kinerja model adalah nilai-nilai CC seperti yang terdapat pada Tabel 1 dan untuk nilai-nilai CC yang lebih tinggi nilainya sesuai dengan bertambahnya jumlah sekuen di gambarkan secara grafik seperti pada Gambar 3 di bawah ini.

Tabel 1. Nilai CC Model Pengontrol Eksdondenganstruktur 20 state

No	Σ Sekuen	Nilai Transisi State					Iterasi	Nilai CC	
		State 1	State 2	State 11	State 19	State 20		Vit	Baum
1.	<b>179</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,81</b>	<b>0,1</b>	<b>24</b>	<b>0,7515</b>	<b>0,7433</b>
2.	214	0,1	0,9	0,1	0,81	0,1	22	0,7462	0,7341
3.	<b>214</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,85</b>	<b>0,05</b>	<b>69</b>	<b>0,7553</b>	<b>0,7452</b>
4.	216	0,1	0,9	0,1	0,85	0,05	48	0,7544	0,7452
5.	220	0,1	0,9	0,1	0,85	0,05	36	0,7539	0,7423
6.	220	0,05	0,95	0,1	0,85	0,05	29	0,7527	0,7468
7.	<b>220</b>	<b>0,01</b>	<b>0,99</b>	<b>0,1</b>	<b>0,85</b>	<b>0,05</b>	<b>43</b>	<b>0,7571</b>	<b>0,7447</b>
8.	227	0,01	0,99	0,05	0,80	0,15	19	0,7397	0,7321
9.	<b>227</b>	<b>0,05</b>	<b>0,95</b>	<b>0,05</b>	<b>0,80</b>	<b>0,15</b>	<b>22</b>	<b>0,7478</b>	<b>0,7358</b>
10.	227	0,1	0,9	0,05	0,80	0,15	21	0,7390	0,7278
11.	233	0,01	0,99	0,05	0,80	0,15	17	0,7243	0,7136
12.	<b>233</b>	<b>0,01</b>	<b>0,99</b>	<b>0,05</b>	<b>0,85</b>	<b>0,1</b>	<b>31</b>	<b>0,7254</b>	<b>0,7109</b>
13.	<b>240</b>	<b>0,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,1</b>	<b>0,80</b>	<b>0,1</b>	<b>31</b>	<b>0,7139</b>	<b>0,6991</b>
14.	240	0,01	0,99	0,1	0,80	0,1	37	0,7089	0,6971
15.	240	0,1	0,9	0,2	0,75	0,05	34	0,7084	0,6968



Gambar 3. Grafik Nilai CC Model 20 State.

Pada Gambar 3 tampak bahwa model tidak mampu merepresentasikan kondisi semua data, terlihat saat jumlah data dinaikkan, nilai CC model turun. Ini menunjukkan bahwa model gagal untuk melakukan generalisasi terhadap data.

Tabel 2 berikut ini menunjukkan hasil nilai CC apabila data dibagi dua dan masing-masing digunakan untuk membangun submodel maka terjadi peningkatan nilai CC

Tabel 2. Nilai CC dengan submodel untuk 20 state.

Jumlah Sekuen	Komposisi nilai transisi state	Nilai CC dengan algoritma Viterbi
69	State1 = 0.1 State 2 = 0.9 State11 = 0.1 State19 = 0.1 State20 = 0.81	0.8808
157	State1 = 0.01 State 2 = 0.99 State11 = 0.1 State19 = 0.85 State20 = 0.05	0.8183

## V. KESIMPULAN

Ujicoba simulasi penelitian ini menghasilkan sebagai berikut:

1. Pada umumnya nilai CC yang dihasilkan dengan menggunakan algoritma Viterbi lebih baik bila dibandingkan dengan menggunakan algoritma Baum-Welch.
2. Pada jumlah sekuen 220, nilai CC adalah 0,7571, hasil ini lebih baik dari hasil ujicoba simulasi dengan menggunakan jumlah data sekuen yang lainnya.
3. Besar nilai transisi state yang ditentukan secara acak dapat mempengaruhi nilai CC yang dihasilkan sehingga perlu dilakukan banyak kombinasi dan variasi dalam menentukan nilai transisi state ini.
4. Peningkatan nilai CC tidak linier terhadap penambahan jumlah data sekuen sehingga ujicoba perlu dilakukan dengan menggunakan pengelompokan data agar karakteristik data dapat diketahui sehingga kinerja model optimal.

## VI. DISKUSI

Peningkatan nilai CC yang dihasilkan dari proses simulasi penelitian ini tidak linier terhadap penambahan jumlah sekuen DNA, untuk itu perlu dilakukan pengelompokan data sekuen yang memiliki karakteristik tertentu agar kinerja model menjadi optimal. Beberapa teknik pengelompokan data sekuen DNA sebagai input proses simulasi dapat di ujicoba pada penelitian lanjutan dengan struktur model yang berbeda-beda untuk mengontrol ekson DNA berbasis HMM.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih Kami sampaikan kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIKTI) yang telah memberikan dana penelitian hibah bersaing sehingga penelitian ini bisa dilakukan. Demikian pula ucapan terima kasih ini Kami sampaikan kepada Universitas Trisakti khususnya kepada Lembaga Penelitian (LEMLIT) Universitas Trisakti atas bantuan dan bimbingannya di dalam melaksanakan dan menyelesaikan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Samatova Nagiza F, *Computational gene finding using HMMs*, Computational Biology Institute Oak Ridge National Laboratory, 2003.
- [2] Anastassiou Dimitris, *Genomic signal processing*, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 18, No.4, pp 8-20, Juli 2001.
- [3] Henderson John, S Salzberg teven, Fasman Kenneth H, *Finding gene in DNA with a Hidden Markov Model*, Journal Computational Biology, Vol. 4, Issue 2, pp 127-141, 199.
- [4] Rabiner Lawrence R., *A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition*, Proceedings of The IEEE, Vol 77, No 2, pp 257-286, Februari 1989.
- [5] Agoes Suhartati, Pakpahan Alfred, Solihah Binti, *Performance of Hidden Markov Model Structure on Deoxyribo Nucleic Acid Coding Sequence of Plasmodium falciparum*. International Journal Asian Transactions on Science & Technology (ATST), Volume 01, Issue 05, November 2011.
- [6] Nicorici Daniel, Astola Jaakko, Tobus Ioan , *Computational identification of exons in DNA with a Hidden Markov Model*, Tampere International Center for Signal Processing, Tampere University of Tecnology, 2002.
- [7] Yada Tetsushi, Hirosawa Makoto, *Gene recognition in cyanobacterium genomic sequence data using the hidden Markov model*, Proceeding International Conference Intell. Syst. Mol. Biol, Vol 4, pp 252-260, 1996.
- [8] Yada Tetsushi, Hirosawa Makoto, *Detection of short protein coding regions within the cyanobacterium genome: application of the hidden Markov model*, DNA. Res. Vol 31, Issue 6, pp 355-361, 31 Desember, 1996.
- [9] Solihah Binti, Agoes Suhartati, Pakpahan Alfred, *Optimasi Model Pengontrol Ekson Berbasis HMM Dengan Preprosesing Data Menggunakan Fuzzy C-Mean*. Seminar Nasional Teknologi Infrmasi 2013 (SNTI 2013), Vol.10, No.1 Tahun 2013, 16 November 2013.

## Lampiran :

```

function [total exon, total intron, total sequence, Jexon, Jintron, NameSeq] = genom(masukkan)
S=genbankread(masukkan);
NameSeq = masukkan;
SS = S.Sequence;
cds = S.CDS;
pj=length(cds);
CDS =SS (cds(1):cds(pj));
Jexon=pj/2;
Jintron=Jexon-1;
a=1;
panjangtotal=0;
for i=1:2:length(cds)
    xa=cds(i);
    xb=cds(i+1);
    exon = SS(xa:xb);
    panjang=length(exon)+panjangtotal;
    total exon(a:panjang)=exon;
    panjangtotal=length(total exon);
    a=a+length(exon);
end
total exon;
length(total exon);
a=1;
panjangtotal=0;
for i=2:2:length(cds)-1
    xa=cds(i)+1;
    xb=cds(i+1)-1;
    intron = SS(xa:xb);
    panjang=length(intron)+panjangtotal;
    total intron(a:panjang)=intron;
    panjangtotal=length(total intron);
    a=a+length(intron);
end
total intron;
length(total intron);
total sequence = SS(cds(1):cds(pj));
length(total sequence);

function [TP, TN, FP, FN]=countTFPN(stateAsli, estState)
LP=min([length(stateAsli) length(estState)]);
cTP=0;
cTN=0;
cFP=0;
cFN=0;
for i=1:1:LP
    if stateAsli(i)==1
        if estState(i)==1
            cTP=cTP+1;
        else
            cFN=cFN+1;
        end
    else
        if estState(i)==1
            cFP=cFP+1;
        else
            cTN=cTN+1;
        end
    end
end
TP=cTP;
TN=cTN;
FP=cFP;
FN=cFN;

```

```
function [CC] = IntronExonIdentificator(State,MaxSState,JSPPS)
akum(MaxSState)=0;
akum(1)=0;
for i=2:1:MaxSState
    akum(i)=akum(i-1)+JSPPS(i-1);
end;
f=length(State);
TL(f)=0;
for i=1:1:f
    TJ=0;
    for j=1:1:MaxSState
        if akum(j)<State(i)
            TL(i)=mod(j+1,2)+1;
        end
    end
end
end
CC=TL;
```

# Desain Protokol Jaringan untuk Komunikasi Multimedia melalui WiMAX

Suherman<sup>1)</sup>, Naemah Mubarakah<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup> Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara  
Medan-Indonesia 20155  
e-mail : suherman@usu.ac.id

**Abstrak**—Tulisan ini membahas protokol jaringan pada lapisan transport serta perubahan desain yang ada untuk meningkatkan kualitas transmisi multimedia melalui perangkat orthogonal frequency division multiplexing (OFDM). Kualitas transmisi video melalui udara sangat rentan terhadap error transmisi, yang menyebabkan terjadinya packet loss. Penggunaan protokol reliable seperti transmission control protocol (TCP) mampu mengurangi loss, tetapi meningkatkan delay yang signifikan. Oleh karenanya dibutuhkan protokol yang dapat mengurangi loss tanpa menambah delay. Artikel ini mengajukan perubahan desain pada protokol jaringan unreliable UDP melalui mekanisme retransmisi dan cross-layer. Melalui simulasi, metode yang diajukan terbukti mampu mengurangi packet loss UDP sebesar rata-rata 6,5 %, menekan delay UDP hingga 18-37% serta meningkatkan kualitas video yang diterima berkisar 21,3-184,3%.

**Kata kunci:** Protokol unreliable, retransmisi, cross-layer, OFDM

## I. PENDAHULUAN

Teknologi OFDM menjadi trend dalam pengembangan teknik multiplexing di dunia nirkabel. Salah satu perangkat yang didesain menggunakan OFDM adalah WiMAX. WiMAX atau perangkat Worldwide interoperability for Microwave Access dapat memberikan layanan broadband kecepatan tinggi baik untuk konektivitas point to point maupun point to multipoint. Standar teknologinya berkembang dari point to point (IEEE, 2004), perangkat user bergerak (IEEE, 2005), sampai kompatibilitas dengan requirement layanan 4G (IEEE, 2011).

Ketersediaan konektivitas kecepatan tinggi untuk layanan fixed maupun mobile, memungkinkan perangkat berbasis OFDM digunakan untuk mendukung layanan multimedia, baik yang bersifat dedicated seperti layanan televisi kabel sejenis internet protocol television (IPTV), infrastruktur surveillance, maupun layanan hotspot menggantikan layanan WiFi konvensional.

Namun demikian, konektivitas berkecepatan tinggi pada layer fisik maupun media tidak akan maksimal, jika layer di atasnya tidak mendukung. Hal ini disebabkan gangguan transmisi selalu ada, terlebih di daerah tropis yang rentan terhadap perubahan cuaca. Sehingga packet loss akan selalu ada dan butuh penanganan. Ketika perangkat telah ada, maka layer di atas layer fisik dan media memegang peranan penting menangani error transmisi. Tulisan ini membahas upaya peningkatan kualitas transmisi multimedia pada layer transport. Tulisan disusun mengikuti alur sebagai berikut,

pembahasan protokol jaringan yang ada pada layer transport dibahas terlebih dahulu, diikuti teknik yang diajukan untuk mengurangi packet loss dan delay. Evaluasi teknik yang diajukan dievaluasi melalui simulasi, dan hasilnya dibandingkan dengan teknik-teknik yang ada. Akhirnya, kesimpulan dan peluang riset ke depan disampaikan.

Link dengan kinerja yang baik tidak akan maksimal jika lapisan di atasnya tidak bekerja dengan baik pula. Dalam jaringan nirkabel yang sederhana satu base station, lapisan jaringan tidak terlalu berpengaruh, sementara lapisan aplikasi bergantung pada lapisan transport dalam bekerja. Oleh karenanya, tulisan ini berkonsentrasi pada lapisan transport. Berikut uraian hasil penelitian terkait lapisan transport dalam meningkatkan kinerja jaringan multimedia.

TCP memberikan layanan reliable dan mengirimkan ulang setiap data yang hilang. Meskipun menjamin kualitas data, pengiriman ulang yang rutin akan sangat mempengaruhi delay pada trafik multimedia. Oleh karenanya, untuk resolusi image video ukuran relatif besar, protokol TCP tidak direkomendasikan. Sebagai gantinya, UDP lebih banyak digunakan untuk komunikasi multimedia seperti video streaming (Postel, 1980). Namun masalah timbul disebabkan UDP sama sekali tidak merespon kondisi jaringa. UDP akan tetap mengirimkan data meskipun terjadi kongesti di jaringan. Sehingga UDP berpotensi membuat kongesti semakin buruk.

Peningkatan kualitas UDP dilakukan dengan banyak cara, diantaranya dengan mengadopsi komponen TCP seperti kendali laju pengiriman. Cara lain yaitu dengan menggunakan kode koreksi, maupun menggunakan negative acknowledgment. Penambahan komponen TCP ke dalam UDP telah dilakukan oleh Bova and Krivoruchka (1999) dengan protokolnya yang disebut reliable UDP (RUDP), dimana kendali kongesti, positif acknowledgement dan retransmisi dilakukan. Masalah yang timbul pada RUDP adalah inkonsistensi RUDP yang kadang menghasilkan delay yang besar (Le et al., 2009). Protokol lain yang mengadopsi komponen TCP adalah Datagram Congestion Control Protocol (DCCP) yang didesain oleh Kohler et al. (2006), yang memanfaatkan kendali kongesti TCP-like dan TCP Friendly Rate Control. Karena DCCP bergantung pada umpan balik user, protokol ini rentan kehilangan kendali jika loss terjadi pada paket umpan balik.

UDP-lite (Larzon et al., 1999) dan Complete UDP/CUDP (Zheng and Boyce, 2001) adalah contoh protokol UDP yang dilengkapi kode koreksi. Kedua protokol mampu mencapai tujuan perbaikan, namun masalah utamanya adalah ketidakselarasan protokol dengan protokol UDP yang ada, sehingga tidak mudah digunakan.

Broadband Video Streaming (Ali et al., 2011) dan Inter-frame Retransmission (Suherman et al., 2011) adalah contoh protokol-protokol yang menggunakan metode retransmisi dengan negative acknowledgement. Protokol-protokol ini mampu mengirim ulang paket loss pada data penting dan masih selaras dengan UDP. Protokol-protokol lain masih banyak, namun tidak begitu berpengaruh.

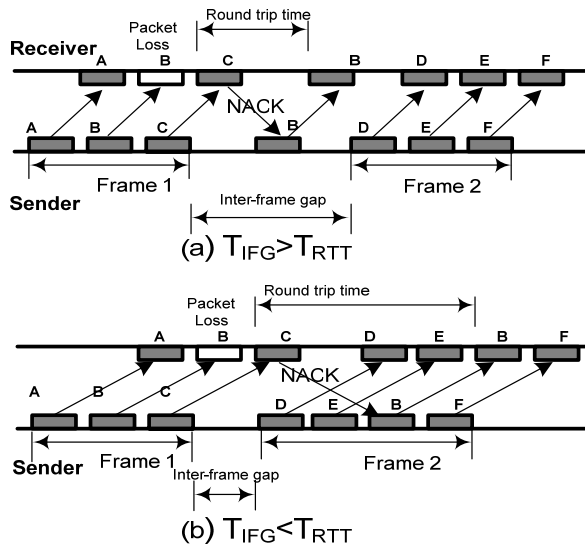
Pada tulisan ini, perubahan desain pada protokol yang ada akan dibandingkan dengan protokol UDP, BVS, IR, dan DCCP.

## II. METODE PENELITIAN

Untuk memperbaiki kualitas protokol UDP, tulisan ini mengajukan dua perubahan, yakni penambahan mekanisme retransmisi yang didasarkan pada negative acknowledgement, dan penambahan kuota bandwidth untuk mengangkut paket yang diretransmisikan.

### A. Metode retransmisi

Metode ini mengadopsi teknik yang ditulis sebelumnya (Suherman et al., 2011). Metode yang sama digunakan oleh BVS (Ali et al., 2011), namun metode IR adalah retransmisi secara kolektif.



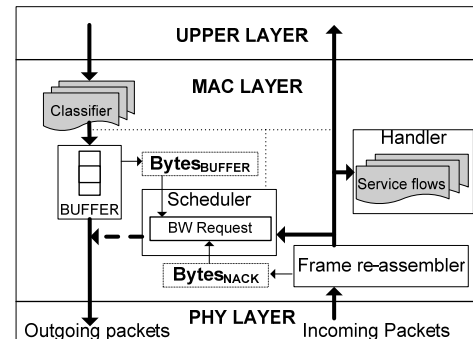
Gambar 1. Retransmisi kolektif

Untuk rentang frame video atau blok suara tertentu, jumlah packet loss direkam oleh penerima. Pada akhir penerimaan frame video, negative acknowledgement dikirimkan user ke pengirim. Meskipun terjadi penambahan delay, proses permintaan retransmisi bersamaan akan mengurangi waktu alokasi kanal pada lapisan medium (MAC). Proses retransmisi ditunjukkan oleh Gambar 1.

Proses retransmisi kolektif tidak dilakukan secara spontan, respon negative acknowledgement pada Gambar 1 dilakukan diakhir penerimaan frame video. Jika waktu inter-frame gap lebih besar dari waktu round trip, maka retransmisi terjadi di waktu idle di antara frame. Namun jika tidak, alokasi bandwidth untuk pengiriman berikutnya harus ditambah agar paket yang diretransmisi maupun paket reguler yang dikirim tidak mengalami perpanjangan delay. Untuk mengatasi hal ini, tulisan mengajukan perubahan kedua, yakni penambahan kuota bandwidth yang dibahas pada sesi berikut.

### B. Penambahan bandwidth transmisi

Penambahan bandwidth transmisi dilakukan untuk menyalurkan trafik retransmisi. Penambahan bandwidth ini dialokasikan menggunakan metode cross-layer, dimana informasi acknowledgement yang berada pada lapisan transport diatur agar transparan dan dapat dibaca oleh lapisan medium akses seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Cross-layer mendukung retransmisi

Gambar 2 merupakan arsitektur sistem OFDM pada jaringan WiMAX untuk lapisan MAC dan transport. Arsitektur dimodifikasi berdasarkan modul simulator NS2 (The Network Simulator, 2010). Informasi negative acknowledgement memasuki jaringan dari lapisan PHY. Sebelum diforward ke lapisan transport, frame re-assembler di MAC layer membaca berapa banyak kanal retransmisi yang dibutuhkan. Jumlah kanal tersebut ditambahkan ke modul bandwidth request oleh modul BytesNACK. Dengan demikian, bandwidth request meminta bandwidth ke jaringan sebesar beban reguler BytesBuffer ditambah beban retransmisi BytesNACK. Proses di atas mempercepat proses retransmisi, sehingga efek delay akibat retransmisi kolektif dapat diatasi, bahkan mengurangi waktu pengiriman data.

### C. Evaluasi simulasi

Untuk mengevaluasi efek perubahan UDP terhadap kualitas multimedia yang ditransmisikan, simulasi dengan simulator NS2 menggunakan modul OFDM-WiMAX NIST (NIST, 2007) dilakukan. Modul OFDM-WiMAX diatur untuk melayani wilayah dengan radius 1000 m dengan modulasi 64 QAM dan dengan durasi frame MAC 5 ms, menggunakan scheduler Round Robin dan contention bandwidth request.

Trafik multimedia yang digunakan adalah jejak videoMPEG: akiyo\_cif.yuv dengan urutan frame IPP, 30 fps, 300 frame dan GOP 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45. Trafik dibangkitkan oleh 5 user, 1 di antaranya pada posisi tetap, 4 lainnya bergerak dengan kecepatan berbeda. Proses pembangkitan trafik, rekonstruksi dan evaluasinya mengikuti Klaue et al. (2003) dan Ke et al. (2008).

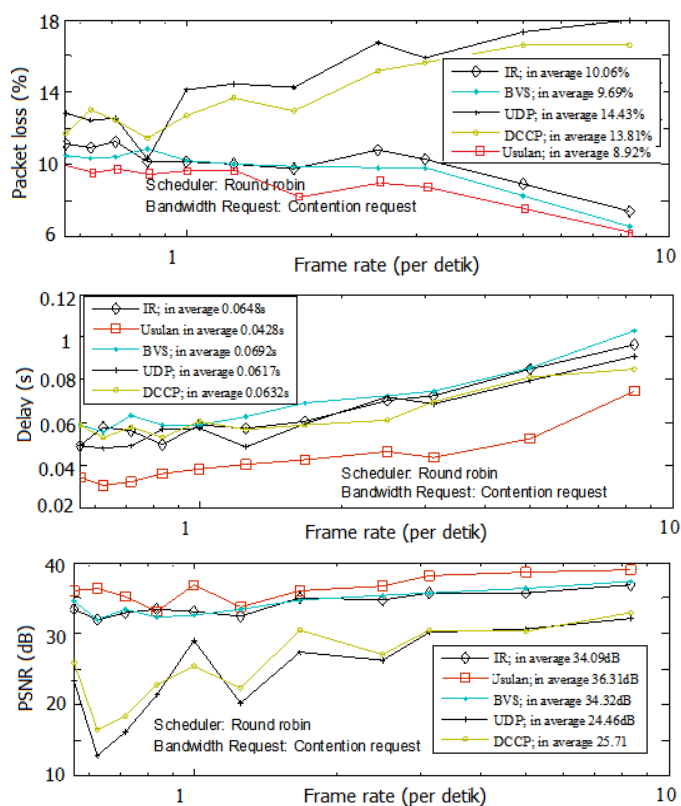
Parameter yang dievaluasi adalah packet loss, delay dan kualitas video dalam satuan dB. Kualitas video ini disebut peak noise to signal ratio (PSNR).

## III. HASIL DAN ANALISIS

Gambar 3 menunjukkan kinerja dari metode yang diusulkan dibandingkan dengan protokol IR, BVS, UDP, dan DCCP. Kinerja yang dibandingkan adalah persentase packet loss, delay dalam detik, dan PSNR. Metode yang diusulkan mampu mengurangi packet loss UDP sekitar rata-

rata 6,5%, menekan delay UDP sampai 18-37% serta meningkatkan kualitas video yang diterima berkisar 21,3-184,3%.

Dibandingkan protokol lain, kualitas video meningkat secara berurut-turut 14.3-149.5%, 12.6-150.2%, dan 17.9-120.23% terhadap IR, BVS, dan DCCP.



Gambar 3. Perbandingan kinerja protokol

Peningkatan kualitas video terutama disebabkan penambahan kuota bandwidth pada saat retransmisi, sehingga packet loss menurun, serta delay packet reguler juga menurun. Kemungkinan terburuk adalah saat kuota bandwidth terbatas, namun metode yang diajukan tetap memperbesar peluang alokasi bandwidth disebabkan kenaikan jumlah permintaan. Kenaikan peluang alokasi bandwidth menyebabkan peluang data prioritas ditransmisikan semakin besar.

#### IV. KESIMPULAN

Dari evaluasi yang dilakukan, diperoleh bahwa perubahan desain UDP mampu mengurangi packet loss UDP sebesar rata-rata 65%, serta lebih baik dari IR, BVS dan DCCP. Dari sisi delay, metode yang diusulkan mampu menekan delay sebesar 21,3-184,3% jauh lebih kecil dari UDP. Dibandingkan protokol lain, kualitas video meningkat secara berurut-turut 21,3-184,3%, 14.3-149.5%, 12.6-150.2% dan 17.9-120.23% terhadap UDP, IR, BVS dan DCCP.

Hasil di atas berlaku untuk link dengan server terhubung langsung ke base station dan user terpisah dengan satu kanal nirkabel. Penerapan pada jaringan yang lebih kompleks memerlukan studi lebih lanjut, dan dapat menjadi bagian dari riset mendatang.

- [1] Ali I., Al-Majeed S., Fleury M., Ghanbari M. (2011). Semi-reliable transport protocol for IPTV over mobile WiMAX. *In Proc. of the IEEE International Conference on Computer as a Tool*, 1-4.
- [2] Bova T. and Krivoruchka T. (1999). Reliable UDP protocol. *IETF draft, Network Working Group*.
- [3] Gu Y. H. and Grossman R. L. (2007). UDT: UDP-based data transfer for high-speed wide area networks, *Elsevier Journal of Computer Networks*, 51(7), 1777-1799.
- [4] He E., Leigh J., Yu O., Defanti T. A. (2002). Reliable Blast UDP: predictable high performance bulk data transfer. *In Proc. of the IEEE International Conference on Cluster Computing*, p.317.
- [5] IEEE (2004). Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems. Std. 802.16-2004.
- [6] IEEE (2005). Local and Metropolitan Area Networks, Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. Std. 802.16e-2005.
- [7] IEEE (2011). IEEE Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems Amendment 3: Advanced Air Interface. Std 802.16m-2011(Amendment to IEEE Std 802.16-2009).
- [8] Ke C.-H., Shieh C.-K., Hwang W.-S., Ziviani A. (2008). An Evaluation Framework for More Realistic Simulations of MPEG Video Transmission. *Journal of Information Science and Engineering*, 24(2), 425-440.
- [9] Klaue J., Rathke B., Wolisz A. (2003). EvalVid, - A Framework for Video Transmission and Quality Evaluation. *In Proc. of the Int. Conf. Modelling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation*, pp. 255-272.
- [10] Kohler E., Handley M., Floyd S., Padhye J. (2006). Datagram congestion control protocol (DCCP). *Request for Comment (RFC) 4340, IETF*.
- [11] Larzon L.A., Degermark M., Pink S. (1999). UDP Lite for real-time multimedia applications, in *Proc. of the IEEE International Conference of Communications*.
- [12] Le T., Kuthethoor G., Hansupichon C., Sessa P., Strohm J., Hadynski G., Kivior D., Parker D. (2009). Reliable User Datagram Protocol for airborne network. *In Proc. of the IEEE conference on military communications*, pp. 1-6.
- [13] National Institute of Standards and Technology. (2007). The Network Simulator ns-2 add-on, IEEE 802.16 model (MAC+PHY), (June).
- [14] Ni Q., Hu L., Vinel A., Xiao Y., Hadjinicolaou M. (2010). Performance Analysis of Contention Based Bandwidth Request Mechanisms in WiMAX Networks. *IEEE Systems Journal*, 4(4), 477-486.
- [15] Postel J. (1980). User datagram protocol, Request for Comments, RFC 768. ISI.
- [16] Suherman; Al-Akaidi, M. (2011). Improving real time video surveillance performance using inter-frame retransmission. *In Proc. 4th International Conference on Imaging for Crime Detection and Prevention 2011 (ICDP 2011)*, pp.1-5.
- [17] Test Media. (2010). Retrieved on October 2010 from: <http://media.xiph.org>
- [18] The Network Simulator. (2010). Retrieved on October 2010 from: [www.isi.edu/nsnam/ns/](http://www.isi.edu/nsnam/ns/).
- [19] Welzl M. (2005). Passing corrupt data across network layers: an overview of recent developments and issues. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, January, 242-247.
- [20] Zheng H. and Boyce J. (2001). An Improved UDP Protocol for Video Transmission over Internet-to-Wireless Networks. *IEEE Trans. on Multimedia*, 3(3), 356-365.



# Prototipe Website untuk Sajian Informasi Profil Desa Binaan Universitas Negeri Gorontalo sebagai salah satu Implementasi Pengembangan Tridharma Perguruan Tinggi

Amirudin Y. Dako<sup>1)</sup>, Rahmat Deddy Rianto Dako<sup>2)</sup>, Jumiati Ilham<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Negeri Gorontalo  
 Gorontalo-Indonesia 96128

**Abstrak—** *This research is aimed to design a prototype website contains profile of villages under UNG assistance. It is designed modularly to enrich the data served in UNG's website. This is important considering the implementation of four pillars of UNG which one of it, is totally IT based to be able to manage its documents and implement the Tridharma Perguruan Tinggi (three universities deeds) especially implementation of community services. In this sense, it is serving as the database for all community services that have been done by UNG. For these villages the information serves to open opportunity to share eksternal resources to strengthen the villages institution, optimization of villages resources, capacity development of villagers, and sustainability of village governance which globally presented, which eventually improve the promotion of villages resources.*

*This research is made with prototype that enables sustainable development of information systems and adjusted to adaptively with current development of information technology. It is planned to be carried out in two years and first year output is a dabase and website contained these villages' profile. Website prototype result from this research is make possible to develop a geographical information system with a little modification in database and the interfaces.*

**Kata kunci:** *prototipe, website, guided village.*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu tridarma perguruan tinggi adalah pengabdian kepada masyarakat. Universitas Negeri Gorontalo (UNG), sebagai perguruan tinggi terbesar di provinsi gorontalo melaksanakan berbagai pengabdian kepada masyarakat, baik yang dilakukan oleh dosen maupun mahasiswa. Dalam Rencana strategis UNG 2010-2014, disebutkan bahwa implementasi pengabdian kepada masyarakat ini dilakukan dalam bentuk pelatihan, pelayanan masyarakat baik ekonomi maupun sosial, desa binaan, penganggulungan buta aksara, pelaksanaan wajar 9 tahun, kuliah kerja sibermas (KKS), penanggulungan bencana alam, pendampingan dalam pemberdayaan ekonomi masyarakat.

Dari berbagai kegiatan pengabdian seperti yang dituliskan sebelumnya, dengan tidak bermaksud mengesampingkan kegiatan lainnya, salah satu kegiatan yang sifatnya berkelanjutan adalah desa binaan. Desa binaan dapat dimaknai sebagai desa model dimana UNG secara intensif mencurahkan segala sumber daya yang tersedia untuk mengembangkan sebuah desa percontohan sehingga menjadi desa yang mandiri dan berkualitas dan selanjutnya menjadi teladan bagi desa lainnya. UNG dengan segala sumber daya yang tersedia sangat memungkinkan untuk mewujudkan hal dimaksud dan lebih dari cukup untuk menemukan setiap solusi dari segala permasalahan yang ada di desa.

Untuk permasalahan infrastruktur desa misalnya, UNG memiliki fakultas teknik. Permasalahan ekonomi kemudian dapat ditangani oleh para pakar ekonomi yang ada di fakultas ekonomi dan bisnis. Permasalahan sosial selanjutnya dapat dicarikan solusinya oleh fakultas ilmu sosial. Untuk peningkatan kapasitas masyarakat melalui pendidikan dan pelatihan, UNG memiliki fakultas ilmu pendidikan dengan fasilitas pembelajaran yang cukup lengkap. Demikian seterusnya, sehingga akan nampak sentuhan nyata dari sebuah universitas terbesar di Provinsi Gorontalo dalam mewujudkan tridarma perguruan tinggi yang diembannya.

Salah satu desa binaan UNG yang diketahui adalah Desa Dulamayo Selatan di Kabupaten Gorontalo. Sebagai sebuah desa binaan oleh universitas terbesar di Gorontalo selayaknya semua informasi terkait profil dan informasi umum potensi sumber daya yang ada di desa bukanlah hal yang samar-samar bagi semua stakeholder yang ada di kampus. Dengan tersedianya informasi yang terang benderang kemudian memungkinkan semua stakeholder yang ada di kampus dapat memfokuskan sumber daya yang tersedia untuk diarahkan ke desa binaan. Sayangnya dari penelusuran yang dilakukan di semua website resmi UNG belum ditemukan hal dimaksud.

Berdasarkan pemaparan diatas, akan dibuat prototipe basis data dan website (Sistem Informasi berbasis web) yang menyajikan profil desa binaan Universitas Negeri Gorontalo, dirancang secara modular dan selanjutnya dapat menjadi tambahan infrastruktur sajian informasi resmi berbasis web yang telah tersedia.

### A. Tujuan

1. Melakukan kompilasi dan analisis data mengenai kegiatan pengabdian masyarakat yang telah dilakukan UNG khususnya profil desa binaan, monografi desa, data spasial, kegiatan dan hasil yang telah dilakukan di desa binaan dan data terkait lainnya. Hasil kompilasi akan menjadi masukan pada penentuan variabel/entitas basis data.
2. Merancang basisdata berdasarkan entitas/variabel yang telah ditentukan pada hasil analisis sebelumnya. Basis data diperlukan untuk menjadi penyimpanan data profil desa binaan
3. Merancang prototipe sistem informasi berbasis web yang menyajikan profil desa binaan UNG.

### B. Manfaat Penelitian

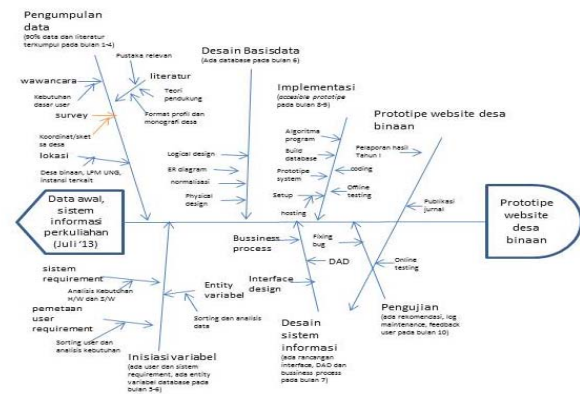
1. Menjadi sumber informasi bagi semua pihak yang terkait dengan implementasi pengembangan tridharma perguruan tinggi khususnya UNG dalam pengabdian kepada masyarakat di desa binaan yang disajikan melalui perambah internet dan dapat diakses secara global,
2. mempermudah akses informasi profil desa binaan bagi para pihak yang membutuhkan,
3. mempermudah monitoring kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh Universitas Negeri Gorontalo khususnya di desa binaan,
4. mengembangkan sarana pendukung sajian informasi serta pendokumentasian kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berbasis IT,
5. menjadi cetak biru pengembangan aplikasi berbasis IT yang didesain secara modular untuk pendokumentasian dan penyajian informasi desa binaan yang selanjutnya dapat memperkaya ragam infrastruktur sajian informasi yang dikelola oleh UNG, dan
6. menjadi rujukan bagi pengambil keputusan dalam menentukan kebijakan terkait pengembangan dan pembangunan desa binaan guna memaksimalkan perencanaan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang terintegrasi.

tersedia di internet. Data-data yang diperoleh ini digunakan sebagai sampel untuk keperluan perancangan basis data, merancang antar muka masukan dan keluaran aplikasi sistem informasi.

Luasnya cakupan penelitian khususnya data monografi desa/profil desa, maka yang akan dibahas pada penelitian ini adalah data yang dianggap penting dan dapat menggambarkan secara umum dan ringkas profil sebuah desa binaan. Data dimaksud dikumpulkan dari profil desa/monografi desa, dan selanjutnya beberapa data yang dianggap kurang relevan dengan tema penelitian tidak akan dibahas lebih lanjut.

### B. Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data awal khususnya data monografi desa dan profil desa. Data yang telah didapat kemudian dianalisis dan dipilah untuk menentukan variabel-variabel yang diperlukan dalam sistem informasi mengikuti metode yang dipakai. Metode yang dipakai pada perancangan basis data dan perancangan sistem informasi menggunakan metode prototipe. Metode prototipe memungkinkan untuk membangun sebuah sistem informasi yang dapat berfungsi sesuai dengan tujuan awal yang ditetapkan serta memungkinkan pula untuk proses pengembangan berkelanjutan atas sistem informasi yang dibuat dengan menyesuaikan kebutuhan dan teknologi yang terkini dalam penyajian sistem informasi.



Gambar 1. Alur Penelitian

## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

Penelitian ini akan dilaksanakan di seluruh desa binaan UNG, lembaga pengabdian masyarakat (LPM) UNG, instansi terkait di pemerintah daerah (badan pemberdayaan desa) dan di laboratorium komputer Fakultas Teknik UNG. Waktu pelaksanaan penelitian direncanakan selama dua tahun yaitu mulai bulan Juli 2013-Juli 2015. Bahan penelitian utama adalah data-data yang dikumpulkan dari desa binaan dan instansi terkait. Data-data tersebut dapat berupa monografi desa, RPJMdes, profil desa, koordinat lokasi, peta serta data pendukung lainnya.

Untuk data spasial, dilakukan pengambilan titik pada setiap desa dengan menggunakan GPS (*global positioning system*). Beberapa data dapat diperoleh dengan melakukan observasi serta wawancara dengan aparat desa, penduduk desa, mahasiswa KKS, LSM/NGO, LPM UNG maupun PNPM perdesaan. Data lainnya dapat diperoleh dengan memfotokopi data yang terdapat di pemerintah daerah kabupaten/kota dan/atau menggunakan mesin pencari yang

### C. Tinjauan Pustaka

Penelitian tentang prototipe website untuk sajian informasi profil desa binaan secara khusus difokuskan pada kompilasi dan analisis data pengabdian masyarakat yang dilakukan oleh UNG, merancang basis data dan mengintegrasikannya dalam prototipe sistem informasi yang menyajikan informasi profil desa binaan UNG, yang dirancang secara modular sehingga dapat menjadi tambahan infrastruktur sajian informasi resmi berbasis web yang telah tersedia di UNG.

Dari penelusuran pustaka, penelitian maupun aplikasi sistem informasi yang memiliki kemiripan dengan sistem informasi yang akan dikembangkan diuraikan sebagai berikut.

- a. [www.pesat.org](http://www.pesat.org), situs ini menyajikan Pelayanan Desa Terpadu (PESAT) yang dikelola oleh lembaga pelayanan Kristen interdenominasi, berdiri sejak 1987 sebagai respon atas panggilan untuk membangun desa-desa di Indonesia melalui layanan pendidikan, kesehatan, ekonomi dan rohani. Penelusuran website ini belum menemukan informasi desa yang berisi secara

lengkap khususnya terkait data profil desa, monografi desa, peta desa, rencana strategis desa maupun program yang telah dan akan dilakukan.

- b. <http://mandalahurip.or.id>, website untuk desa bernama Mandalahurip yang terletak di kecamatan jatiwaras Jatiwaras Kabupaten Tasikmalaya. Website ini cukup lengkap tetapi sayangnya hanya berisi informasi untuk satu desa saja, yaitu desa Mandalahurip.
- c. <http://id.wikipedia.org>, website ini merupakan bentuk dari ensiklopedi online, dengan menelusuri lebih lanjut situs ini dapat ditemukan informasi suatu daerah khususnya provinsi dan beberapa desa. Sayangnya dari penelusuran yang telah dilakukan khusus untuk daerah setingkat provinsi data yang disajikan relatif lengkap tetapi informasi untuk level desa belum banyak yang bisa dieksplorasi.
- d. [www.database.teluktomini.org](http://www.database.teluktomini.org), website ini dibuat pada tahun 2010 yang dikembangkan oleh Amirudin Y. Dako, untuk IUCN (international Union for Conservation of Nature) regional Asia pada program SUSCLAM (*Tomini Bay Sustainable Coastal and Livelihoods Management*). Situs ini menyajikan informasi tentang semua desa dampingan program dan berisi informasi terkait hasil kajian partisipatif desa. Informasi yang disajikan cukup lengkap dan sayangnya hanya menyajikan data desa yang tersentuh oleh program dimaksud (Dako, Oktober 2010).

Berdasarkan uraian di atas, sepanjang penelusuran pustaka yang telah dilakukan, belum ditemukan sistem informasi yang memuat data profil desa binaan perguruan tinggi khususnya UNG di Gorontalo. Pada *website* lembaga pengabdian masyarakat di tingkat UNG sendiri memang secara khusus belum tersedia informasi terkait data maupun kegiatan pada desa binaan maupun desa lokasi KKS yang telah dilakukan.

#### D. Perancangan Basis data

Hoffer, *dkk* (2002:4) menjelaskan bahwa basis data adalah sebuah kumpulan data yang terorganisir dan dihubungkan secara logis. Data terorganisir maksudnya bahwa data distrukturisasi sedemikian rupa sehingga mudah disimpan, dimanipulasi dan digunakan kembali.

Dalam pengembangan sebuah sistem informasi, misalnya dengan metode *System Development Life Cycle (SDLC)*, didalamnya termasuk aktifitas yang berhubungan dengan pengembangan basis data, sehingga isu manajemen basis data tersebar sepanjang proses pengembangan sistem (Hoffer *dkk*, 2002:41).

#### E. Proses Pengembangan Sistem

Proses pengembangan sistem merupakan kumpulan aktivitas, metode, praktek-praktek terbaik, penyajian, dan alat terotomasi yang digunakan oleh para pihak untuk mengembangkan dan memelihara sistem dan perangkat lunak informasi.

##### a. Siklus Hidup Pengembangan sistem

Metode ini merupakan metode tradisional yang digunakan untuk mengembangkan, memelihara dan memperbaharui/mengganti sistem informasi, dan merupakan kumpulan lengkap dari langkah-langkah tim profesional

sistem informasi termasuk perancang basis data dan *programmer* (Hoffer *dkk*, 2002:41). Metode ini terdiri dari tujuh tahapan atau tujuh langkah yaitu identifikasi dan seleksi proyek, inisiasi dan perencanaan proyek analisis, logical design, physical design, implementasi, dan pemeliharaan.

##### b. Metode alternatif

Kelemahan metode *SDLC* antara lain ialah untuk kasus-kasus tertentu membutuhkan proses pengembangan yang relatif lama, sehingga permasalahan yang ditangani sudah berubah pada saat sistem selesai dikembangkan (Jogiyanto, 2005:475). Hal ini mendasari pengembangan metode alternatif untuk mengatasi kasus-kasus tertentu yang tidak memungkinkan dengan pengembangan melalui metode konvensional. Beberapa metode alternatif dimaksud diuraikan sebagai berikut :

###### a. Metode Paket (*Package method*)

Metode ini digunakan dengan cara membeli perangkat lunak yang ada, yang dikembangkan oleh pihak ketiga, dan langsung dapat digunakan (Jogiyanto, 2005:479).

###### b. Metode prototip (*Prototype method*)

Pada metode ini dibuat dulu sebuah prototip sistem informasi yang sederhana, kemudian diperbaiki terus sampai sistem ini selesai dikembangkan (Nugroho, 2007 :19). Dalam metode ini sebuah proses iteratif dari pengembangan sistem dimana syarat-syarat dikonversi ke dalam sistem kerja yang secara terus menerus diperbaiki melalui kerja dekat antara sistem analis dan pemakai (Hoffer *dkk*, 2002:44)

###### c. Metode Spiral

Metode ini terdiri dari 4 aktifitas utama, yaitu perencanaan, analisis resiko, rancang bangun dan evaluasi konsumen. Aktifitas dilakukan secara berulang dan semakin bergerak ke arah versi yang lebih lengkap. Pada tahap rancang bangun menggunakan pendekatan *SDLC* dan analisis resiko dilakukan untuk mengevaluasi kemungkinan apakah proses pengembangan dapat dilanjutkan atau tidak (Nugroho, 2007 :21).

###### d. Metode pengembangan oleh pemakai (*end user development*)

Metode pengembangan ini dilakukan dan dioperasikan oleh pemakai sistem informasi itu sendiri (Jogiyanto, 2005:479).

###### e. Metode *outsourcing*

Pengembangan sistem informasi ini dilakukan oleh pihak ketiga dan sekaligus dioperasikan oleh pihak ketiga, yang lokasinya terpisah secara geografis. Pemakai sistem menerima informasi secara periodik dari pihak ketiga atau melalui teknologi telekomunikasi yang menghubungkan sistem komputer kedua belah pihak (Jogiyanto, 2005:480).

#### 1) Profil Desa

Dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 12 Tahun 2007 Tentang Pedoman Penyusunan Dan Pendayagunaan Data Profil Desa Dan Kelurahan dijelaskan bahwa Profil Desa dan Kelurahan adalah gambaran menyeluruh tentang karakter desa dan kelurahan yang meliputi data dasar keluarga, potensi sumber daya alam, sumber daya manusia, kelembagaan, prasarana dan sarana serta perkembangan kemajuan dan permasalahan yang dihadapi desa dan kelurahan. Profil desa dan kelurahan

terdiri atas data dasar keluarga, potensi desa dan kelurahan, dan tingkat perkembangan desa dan kelurahan.

## 2) Monografi Desa

Dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 Tentang Monografi Desa Dan Kelurahan dijelaskan bahwa monografi desa dan kelurahan adalah himpunan data yang dilaksanakan oleh pemerintah desa dan kelurahan yang tersusun secara sistematis, lengkap, akurat, dan terpadu dalam penyelenggaraan pemerintahan. Monografi desa dan kelurahan memuat data umum; data personil; data kewenangan; data keuangan; dan data kelembagaan.

### III. HASIL DAN ANALISIS

#### A. Identifikasi User

Hasil identifikasi diperoleh bahwa pemanfaat sistem informasi tersebut adalah institusi perguruan tinggi, UNG/LPM, dosen, mahasiswa, pemerintah dan masyarakat desa binaan, LSM/NGO, pemerintah daerah dan khalayak masyarakat luas.

#### B. Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan dengan cara menelusuri literatur terkait, melakukan wawancara dan survey untuk pengumpulan sampel data monografi desa binaan. Lokasi pengumpulan data adalah desa binaan, LPM, instansi terkait serta internet. Penelusuran literatur dimaksudkan untuk melengkapi data, teori maupun materi/aplikasi terkait penelitian. Data yang didapat akan digunakan sebagai sampel data untuk mendesain basis data pada tahapan berikutnya. Survey dilakukan dalam rangka melihat lebih dekat kondisi desa binaan, mengambil data primer, serta melakukan wawancara untuk menggali lebih jauh kebutuhan calon pengguna maupun melengkapi ketersediaan data yang diperlukan dalam pengembangan sistem. Wawancara dilakukan secara informal pada semua calon pengguna sistem. Selanjutnya hasil pengumpulan data diuraikan berturut-turut berikut.

#### 1) Hasil penelusuran literatur

Dari proses penelusuran literatur antara lain didapatkan,

- Ada aplikasi terkait pengelolaan profil desa dan kelurahan (Prodeskel-PMD) yang dikelola oleh dirjen Pemberdayaan Masyarakat dan Desa. Penelusuran lebih lanjut didapati bahwa diperlukan akses khusus untuk dapat menggunakan aplikasi dimaksud dan data yang ditampilkan untuk pengguna tamu hanyalah rekapitulasi pengisian yang telah dilakukan oleh semua desa yang terdaftar pada aplikasi dimaksud. Dengan kata lain, untuk menggunakan aplikasi dimaksud memerlukan proses login yang menghendaki adanya input username dan password.
- Dasar hukum pembuatan profil desa diatur dalam peraturan menteri dalam negeri nomor 12 tahun 2007 tentang Pedoman Penyusunan Dan Pendayagunaan Data Profil Desa Dan Kelurahan.
- Dasar hukum pembuatan monografi desa diatur dalam peraturan menteri dalam negeri nomor 13 tahun 2012 tentang monografi desa dan kelurahan.
- Jumlah desa binaan LPM UNG saat ini ada 12 desa, yang terletak di 4 kabupaten di Provinsi Gorontalo.

#### 2) Hasil survey

Hasil survey antara lain diuraikan berikut.

- Saat ini di LPM UNG belum ada website yang secara khusus mengelola data desa binaan, selama ini data desa binaan hanya dapat dijumpai pada file-file yang terpisah dan diolah dengan beragam aplikasi. Database terkait desa binaan belum tersedia
- Data terkait progress maupun hasil kegiatan lapangan tidak terdokumentasi dalam basis data dan hanya dapat dijumpai pada laporan kegiatan, baik laporan kegiatan pengabdian maupun laporan KKN/KKS, itupun dalam kondisi seadanya.
- Di tingkat desa, data profil desa dibuat dalam bentuk buku dengan mengikuti format yang ada pada Permendagri terkait pengisian profil desa. Selanjutnya buku isian profil desa dimaksud diserahkan ke pemda dalam bentuk laporan dan diisi dalam aplikasi Prodeskel-PMD secara online. Sayangnya belum satupun desa binaan yang ada telah melengkapi dokumen /mengunggah ke dalam aplikasi dimaksud. Beberapa data diperoleh melalui pelaksana program PNPM mandiri perdesasaan.
- Sarana akses atas informasi desa maupun data terkait potensi desa belum tersedia secara bebas dan relatif sulit untuk mendapatkan informasi spesifik desa.

#### 3) Hasil wawancara

Kompilasi hasil wawancara selanjutnya dapat dilihat pada bagian pemetaan *user requirement* berikutnya.

#### C. Inisiasi variabel

- *Pemetaan kebutuhan pemanfaat (user requirement mapping)*

Dari proses survey dan wawancara kemudian hasilnya dikompilasi dan dipetakan berdasarkan kebutuhan masing-masing pengguna dan selanjutnya disajikan berikut.

TABLE I  
HASIL IDENTIFIKASI KEBUTUHAN PEMANFAAT (USER REQUIREMENT)

KEBUTUHAN	USER			
	A	B	C	D
Basis data desa binaan	*	*		
Aplikasi sistem informasi yang mengelola data desa binaan yang terintegrasi	*	*		
Data desa binaan dapat ditampilkan secara real time dan terupdate	*	*	*	*
Informasi penyelenggaraan tridharma PT tersedia tanpa dibatasi oleh jam kantor dan mudah diakses	*	*	*	*
Informasi ringkas profil desa binaan	*	*	*	*
Informasi monografi desa binaan	*	*	*	*
Informasi kesediaan sumber daya dan administrasi desa binaan	*	*	*	*
Informasi kegiatan pengabdian/KKS serta outputnya	*	*	*	*
Informasi program pemerintah/stakeholders di desa	*	*	*	*
Informasi kegiatan/berita terkait desa binaan	*	*	*	*
Informasi desa bina tersaji secara global	*	*	*	*

KEBUTUHAN	USER			
	A	B	C	D

dan mudah diakses

Keterangan: A: *institusi PT, UNG/LPM, dosen, mahasiswa*;  
B: *pemerintah dan masyarakat desa binaan*; C: *PEMDA*;  
D: *LSM/NGO masyarakat*.

#### - Sistem requirement

Berdasarkan data yang berhasil dikumpulkan di lapangan serta identifikasi kebutuhan pemanfaat selanjutnya dilakukan analisa terhadap kedua hasil yang diperoleh tersebut. Analisa dimaksud meliputi tujuan pembuatan sistem informasi, unit organisasi yang akan mengelola sistem, kemampuan sistem informasi, fungsi-fungsi yang bisa dilakukan oleh sistem, serta desain fungsi/menu sistem informasi secara umum. Hasil analisis tersebut kemudian diuraikan berikut.

#### • Tujuan pembuatan sistem informasi

Tujuan pembuatan sistem informasi adalah membuat prototipe sistem informasi yang menyajikan informasi ringkas profil desa binaan yang terintegrasi dengan pengelolaan basis data.

#### • Unit Organisasi

Prototipe sistem informasi yang didesain akan digunakan pada lembaga pengabdian masyarakat UNG sebagai penunjang proses dan dokumentasi implementasi pengembangan tridharma perguruan tinggi.

#### • Kemampuan Sistem Informasi

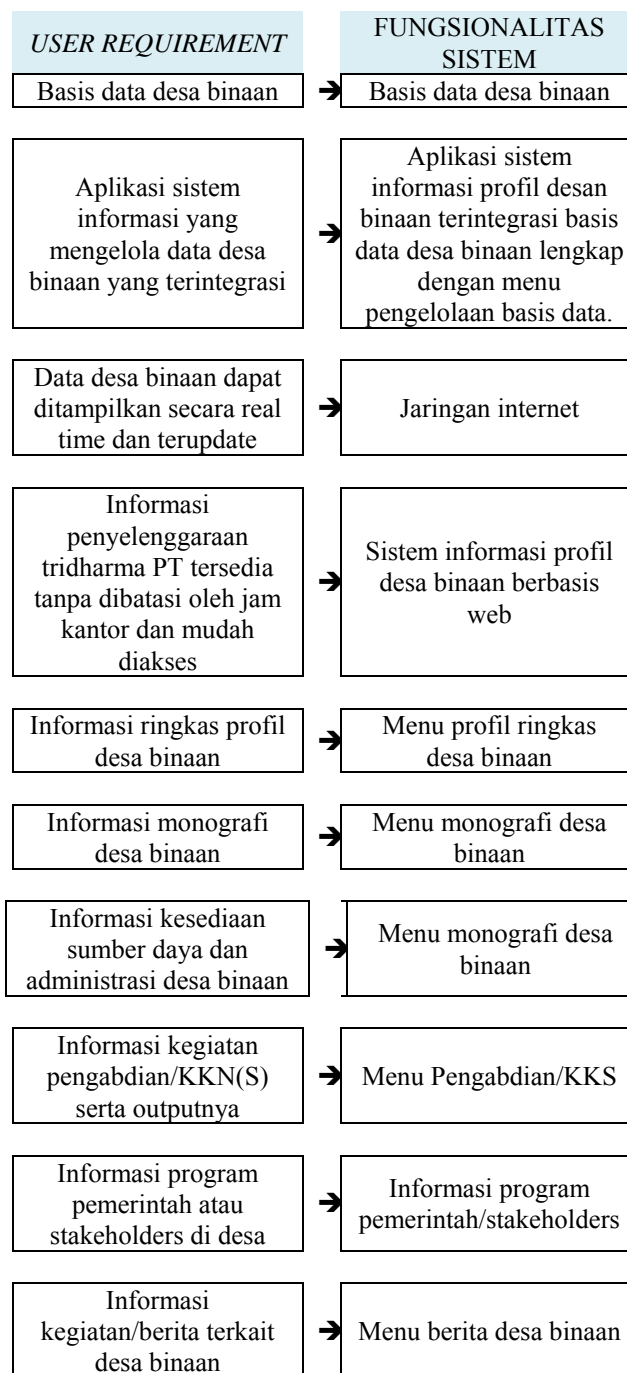
Sistem informasi yang diharapkan adalah sistem yang terpadu berbasis web sehingga dapat diakses tanpa batasan waktu dan tidak dibatasi oleh letak geografis, modular sehingga dapat disisipkan kedalam sistem yang sudah ada serta mampu menangani hal-hal umum di bawah ini.

1. Pemasukan data kegiatan terkait desa binaan dengan akses terbatas (khusus untuk administrator pada unit organisasi),
2. Pemrosesan keluaran sistem informasi berdasarkan data yang dimasukkan,
3. Menampilkan data penyelenggaraan kegiatan pengabdian masyarakat secara real time meliputi kegiatan pengabdian yang temporer, dan kegiatan rutin seperti KKN/KKS serta informasi terkait lainnya,
4. Menampilkan data umum desa binaan,
5. Menampilkan data profil ringkas maupun monografi secara umum dengan akses yang mudah dan cepat,
6. Menampilkan program pengembangan maupun pembangunan desa yang telah dilaksanakan di desa binaan, baik oleh institusi perguruan tinggi maupun pemerintah/SKPD serta stakeholder terkait, dan
7. Dapat diakses melalui perambah internet tanpa terbatas ruang dan waktu.

#### • Fungsionalitas

Berdasarkan kebutuhan dasar dari sistem informasi yang diinginkan, kemudian disusun ke dalam kebutuhan-kebutuhan yang lebih spesifik yang nantinya akan direpresentasikan dalam bentuk fungsi maupun menu yang

ada dalam sistem informasi yang nantinya akan dikembangkan.



Gambar 2. Hubungan antara *user requirement* & fungsionalitas sistem

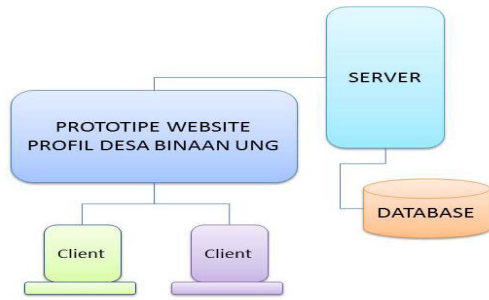
Selanjutnya fungsionalitas sistem tersebut diuraikan dalam daftar menu sebagai berikut.

1. Profil ringkas desa binaan
2. Pengabdian yang telah diselenggarakan di desa binaan
3. Kegiatan KKN(S) yang telah diselenggarakan beserta output programnya
4. Berita dan informasi terkini desa binaan
5. Pengelolaan basis data

#### • Arsitektur sistem

Sistem terdiri dari satu buah basis data yang dipakai untuk memuat data profil dan data penunjang lainnya.

Database ini dapat berbentuk modul yang akan disisipkan pada database Lembaga penelitian yang sudah ada. Demikian pula halnya dengan server, server yang sudah ada saat ini dapat dipakai bersama sebagai tempat penyimpanan database dan sistem informasi profil desa binaan.

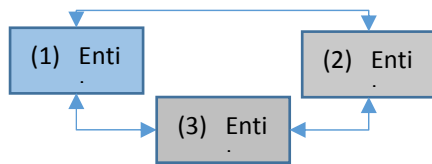


Gambar 3. Arsitektur sistem

Sistem informasi dirancang untuk pemanfaat yang menggunakan komputer yang memiliki jaringan internet (termasuk komputer mobile, notebook, netbook, ipad dan smartphone). Cara akses selanjutnya dapat dilihat pada skenario proses sistem pada bagian selanjutnya.

**D. Entity variable**

Secara umum, variabel entitas dapat dibagi dalam tiga kelompok yang saling terkait langsung, yaitu entitas di desa binaan, entitas di institusi perguruan tinggi, dan entitas untuk menunjang pengelolaan sistem yang direncanakan.



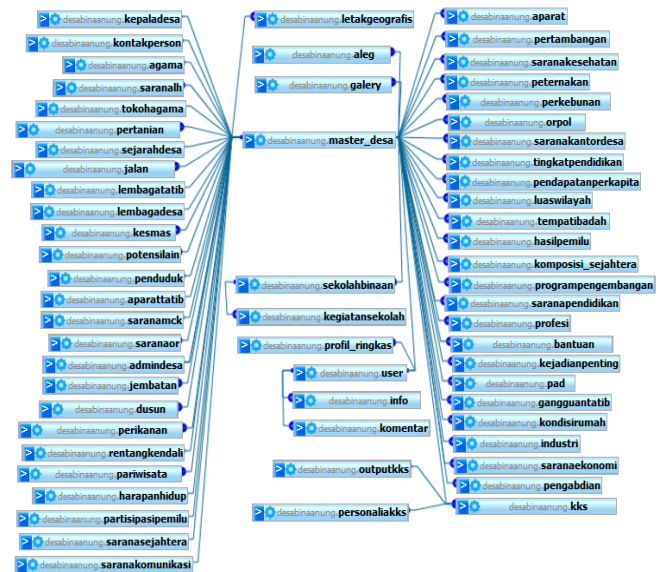
Gambar 4. Entity variable

Selanjutnya ketiga entitas diuraikan berikut.

1. Entitas di desa binaan, meliputi antara lain master desa dan profil desa, yang berisi atribut-atribut dengan merujuk lampiran Peraturan Menteri Dalam Negeri no 12 tahun 2007.
2. Entitas di institusi UNG, meliputi program dan kegiatan serta hasil yang dilakukan oleh institusi perguruan tinggi khususnya UNG terkait dengan implementasi pengembangan tirdarma perguruan tinggi yang diembannya, misalnya KKN (kuliah kerja nyata)/KKS (kuliah kerja sibermas), pengabdian kepada masyarakat dan kegiatan terkait lainnya. Entitas dimaksud adalah Data KKN/KKS, program pengabdian masyarakat oleh PT, sekolah binaan dan informasi kegiatan yang dilakukan maupun hal terkait lainnya.
3. Entitas untuk sistem pengelolaan, dimaksudkan untuk menunjang pengelolaan sistem informasi yang berkelanjutan dan terintegrasi dalam sistem basis data. Entitas dimaksud adalah user, info dan komentar.

**E. Desain basis data**

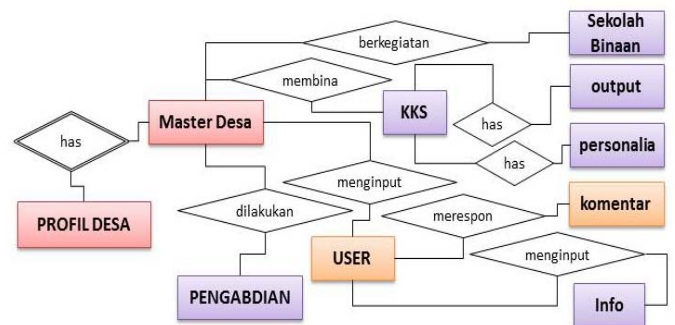
**- Logical design**



Gambar 5. Logical design

**- ER diagram**

Dengan mempertimbangkan ruang penulisan yang tersedia, maka ER diagram berikut telah disederhanakan sehingga dapat tertuang dalam naskah ini.



Gambar 6. ER Diagram

**- Physical design**

Desain fisik database dilakukan dengan menggunakan database MySQL dengan bantuan aplikasi PHPMyAdmin, menghasilkan database yang diberi nama 'desabinaanung' dengan jumlah tabel sebanyak 51 buah.

**F. Desain sistem informasi**

Tahapan desain proses sistem ini terdiri dari penentuan skenario proses sistem, desain proses sistem serta desain antarmuka pada sistem informasi yang dibuat.

**a. Skenario Proses Sistem**

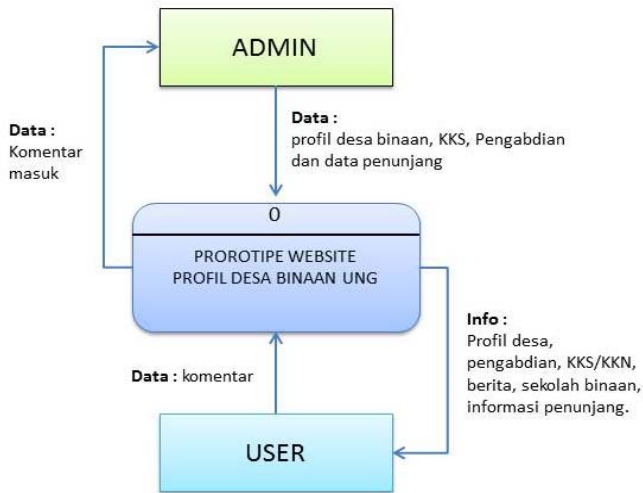
Pihak yang akan berkepentingan dengan sistem informasi ini terbagi atas 2 yaitu administrator/pengelola sistem serta pihak yang mengambil manfaat dari sistem/pemanfaat sistem.

1. Pengelola sistem (administrator), bertugas mengelola sistem, yang meliputi kegiatan mengelola basis data serta sistem informasi secara keseluruhan. Untuk melindungi keamanan data, maka seluruh proses pengelolaan basis data dilindungi oleh kata kunci untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan.

2. Pemanfaat sistem (*user/client browser*), semua pihak yang mengakses sistem informasi. Pihak-pihak tersebut dapat berupa institusi PT, UNG/LPM, dosen, mahasiswa, pemerintah dan masyarakat desa binaan, pemerintah daerah, LSM/NGO dan masyarakat luas pada umumnya. Semua layanan yang diberikan oleh sistem informasi dapat diakses oleh *user* kecuali akses untuk mengelola basis data.

*b. Proses Sistem*

Untuk menggambarkan informasi yang mengalir pada sistem atau aplikasi digunakan Diagram Arus Data/DAD (*data flow diagram/DFD*). DAD juga digunakan untuk menggambarkan sistem pada setiap tingkatan yang dipecah-pecah menjadi sistem yang lebih spesifik, dimulai dengan membuat diagram konteks atau DAD level 0 sebagai gambaran sistem yang paling umum, dan selanjutnya diuraikan menjadi level-level yang lebih detail.



Gambar 7. Diagram Konteks

*c. Desain antarmuka / Interface Design*

Desain antar muka dibagi menjadi dua, yaitu sisi user dan sisi administrator/pengelola sistem. Hal ini dimaksudkan untuk membedakan secara jelas status ketika mengakses sistem.



Gambar 8. Desain Antarmuka sisi *user*



Gambar 9. Desain Antarmuka *Administrator*

*G. Implementasi*

Tahapan implementasi dilakukan setelah tahapan desain dilakukan, sesuai langkah-langkah berikut.

- *Penetapan Algoritma Program*

Algoritma program ditetapkan berdasarkan tujuan perancangan yang mengacu pada sebuah sistem yang modular sehingga dapat dengan mudah disisipkan pada sistem yang sudah ada. Untuk memudahkan integrasi dengan sistem lama, sistem dirancang adaptif atau dapat dengan mudah dikostumisasi mengikuti sistem yang sudah ada, sehingga logika proses ataupun algoritma yang dipakai dalam eksekusi maupun input output terhadap sistem memakai algoritma proses sistem sederhana dan umum dipakai serta dibagi dalam proses yang sederhana mungkin. Acuan yang dipakai dalam menetapkan algoritma program adalah skenario proses sistem serta DAD yang telah ditetapkan sebelumnya.

- *Membangun Basis data / Build database*

Basis data yang dipakai pada sistem ini dibangun dengan menggunakan database MySQL pada aplikasi PHPMyAdmin yang terdapat dalam paket XAMPP.

Acuan yang dipakai dalam pembuatan basis data adalah hasil desain basis data yang telah dibuat sebelumnya. Proses ini kemudian menghasilkan database '*desabinaanung*' yang terdiri dari 51 tabel. Tabel-tabel yang ada kemudian diisi dengan sampel data yang berhasil dikumpulkan.

- *Coding*

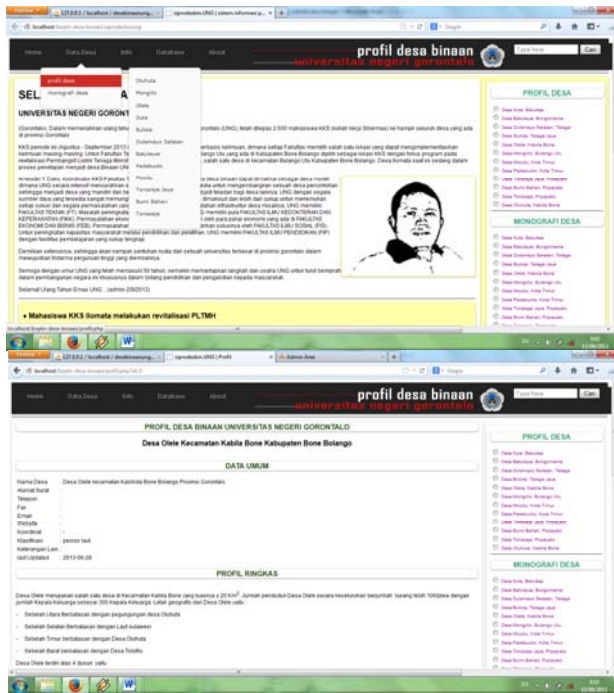
Proses penulisan *source code* program (*coding*) dilakukan setelah desain antarmuka baik form masukan dan keluaran serta halaman untuk menampilkan data dirancang, *penulisan source code* program menggunakan aplikasi notepad/notepad++ dan Macromedia Dreamweaver *trial version*. Penulisan *code* program mengacu pada skenario proses sistem serta algoritma yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasil kompilasi *source code* program berturut-turut disajikan berikut.



Gambar 10. Tampilan Halaman awal sisi *user*

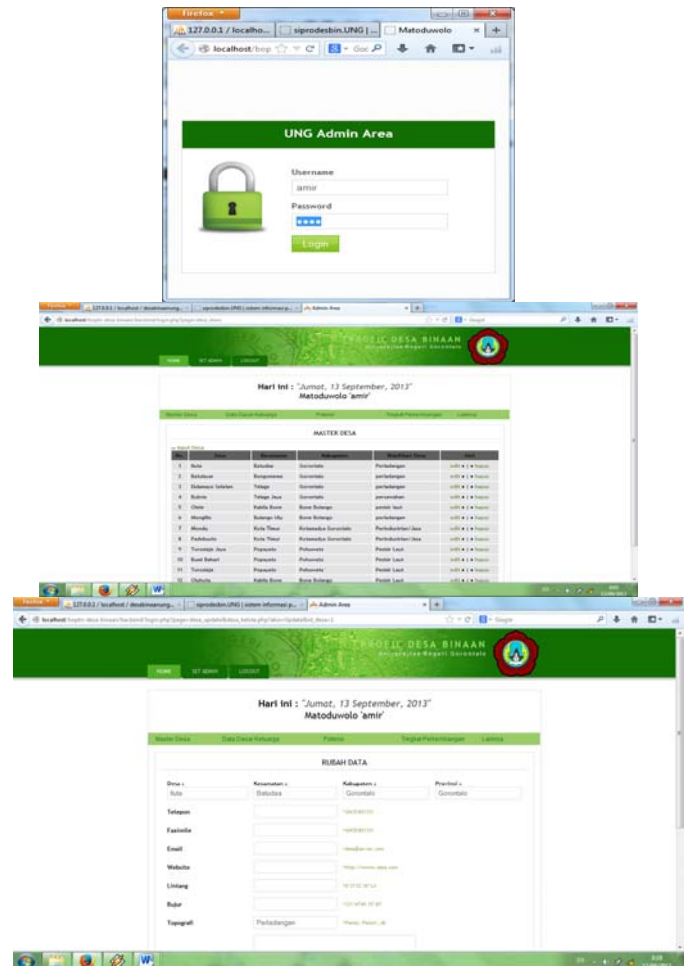


Gambar 11. Tampilan Halaman awal sisi Administrator



Gambar 12. Beberapa tampilan sisi user

2. Dalam kaitan dengan peralihan ke sistem yang baru, sangat diperlukan dukungan manajemen serta kebijakan dan strategi penyesuaian langkah dalam proses adaptasi dengan sistem yang telah dikembangkan.
3. Pengembangan sistem informasi lebih lanjut perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas sistem informasi menjadi lebih handal dan dengan kandungan informasi yang lebih lengkap.



Gambar 13. Beberapa tampilan sisi Administrator

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian ini telah didapatkan kesimpulan

1. Kompilasi dan analisis data kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh UNG khususnya di desa binaan, yang menjadi masukan untuk penentuan variabel/entitas basis data.
2. Basis data 'desabinaanung' yang terdiri dari 51 tabel dan terintegrasi dengan prototipe sistem informasi dalam bentuk website yang digunakan untuk mengelola data profil desa binaan serta kegiatan pengabdian masyarakat yang dilakukan UNG di desa binaan,
3. Prototipe sistem informasi berbasis web untuk menampilkan profil dan data detail desa binaan serta ragam kegiatan pengabdian masyarakat yang dilakukan di desa binaan UNG.

Saran

1. Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat (LPM) UNG dalam mengimplementasikan pelaksanaan 4 pilar UNG khususnya totally IT, sepatutnya mulai beralih dari sistem lama ke sistem informasi berbasis web yang lebih baru khususnya untuk pengelolaan data terkait dengan pelaksanaan pengabdian kepada masyarakat.

#### Daftar Pustaka

- [1] Dako, Amirudin, "Recommendations For A Cost-Effective Susclam GIS Site License.", Program Teluk Tomini (SUSCLAM), Tomini Bay Sustainable Coastal and Livelihoods Management Project. IUCN ARO-CIDA-Lestari-Wetland internasional. paper report, 2010.
- [2] Hoffer, A. Jeffrey, Prescott, Mary B, McFadden, Fred R, "Modern Database Management", 8<sup>th</sup> edition., Pearson Education, Inc., New Jersey, USA, 2002.
- [3] HM., Jogyanto., "Sistem Teknologi Informasi", 2<sup>th</sup> edition., Yogyakarta, Indonesia, 2005.
- [4] Nugroho, Edi Lukito, "Materi kuliah Rekayasa Perangkat Lunak.", Pasca Sarjana Teknik Elektro. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta, Indonesia., 2007.
- [5] Sutabri, Tata. "Analisa Sistem Informasi." 1<sup>th</sup> edition. Andi Offset. Yogyakarta, Indonesia., 2004.
- [6] Buku Panduan SI-Prodeskel PMD, <http://www.prodeskel-pmd.web.id/unduh/Buku%20Panduan%20SI-Prodeskel%20PMD.pdf> diakses tanggal 24 Juni 2013



- [7] Peraturan Menteri Dalam Negeri No 12 tahun 2007 tentang Penyusunan Profil Desa,  
<http://downloads.ziddu.com/downloadfiles/18465510/permen-no-12-th2007-ttg-penyusunan-profil-desa.pdf>, diakses tanggal 2 Juni 2013.
- [8] Peraturan Menteri Dalam Negeri No 13 tahun 2012 tentang monografi desa dan kelurahan,  
[http://www.kemendagri.go.id/media/documents/2012/02/10/p/e/permen\\_no.13\\_th\\_2012.doc](http://www.kemendagri.go.id/media/documents/2012/02/10/p/e/permen_no.13_th_2012.doc), diakses tanggal 2 Juni 2013
- [9] Rencana strategis UNG 2010-2014..
- [10] <http://id.wikipedia.org>, diakses 15 Pebruari 2013.
- [11] <http://mandalahurip.or.id>, diakses 3 Maret 2013.
- [12] <http://www.sacmeq.org/statplanet>, diakses 14 Desember 2012.
- [13] [www.database.teluktomini.org](http://www.database.teluktomini.org), diakses 10 Januari 2013.
- [14] [www.pesat.org](http://www.pesat.org), diakses 2 Maret 2013.

# Prototipe ATG sebagai Alat Ukur Volum, Suhu dan Massa Jenis pada Tangki Timbun BBM

Romi Wiryadinata<sup>1)</sup>, Wyman Firmansyah Putra<sup>2)</sup>, Alimuddin<sup>3)</sup>,  
<sup>1,2,3.)</sup> SINKEN Reasearch Group, Laboratorium Kendali dan Instrumentasi  
 Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,  
 Banten, Indonesia, 42435.

e-mail : romi@wiryadinata.web.id, wyman\_3@yahoo.co.id, alimuddin@ft-untirta.ac.id

**Abstrak**—ATG (*Automatic Tank Gauging*) adalah *instrument* ukur penting yang digunakan oleh banyak industri untuk mengukur *level fluida*, suhu, dan massa jenis cairan pada sebuah tangki. ATG memiliki bangunan utama berupa *coupling magnet* dengan konfigurasi magnet khusus dan bandul. Pembuatan Prototipe ATG (*Automatic Tank Gauging*) sebagai alat ukur *volume*, suhu dan *density* pada tangki timbun BBM (Bahan Bakar Minyak) berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535 dengan menggunakan sensor ultrasonik PING sebagai pengukur *level fluida* cair pada tangki, sensor LM35 sebagai pengukur suhu pada cairan bahan bakar minyak, dan sensor *load cell* sebagai pengukur massa jenis dari cairan bahan bakar minyak, dan alat penampil berupa LCD. *Software* yang mendukung untuk proses pemrograman dari sistem ini adalah *CodeVision AVR 1.25.9*. *Software* ini sangat mudah digunakan dengan bahasa pemrograman bahasa C. Hasil percobaan pengukuran volum cairan didapat persentase *error* sebesar 1,1% dari total pengukuran yang diuji hingga 4000 ml. Pengukuran suhu menggunakan sensor LM35 didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran suhu mencapai 2,26%. Pada pengukuran massa jenis didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran massa jenis adalah 0%. Perbedaan yang diperoleh tidak terlalu jauh sehingga alat ini dapat sebagai alternatif pengganti ataupun sebagai pembelajaran dari ATG.

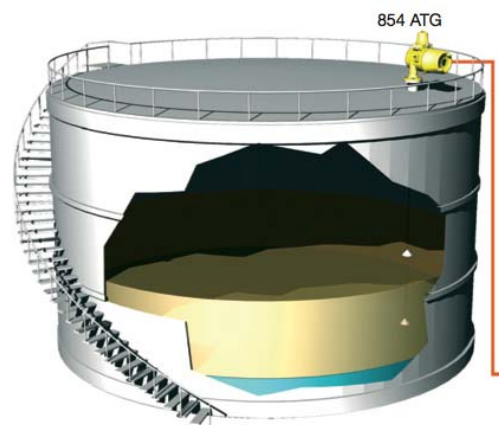
**Kata kunci:** ATG (*Automatic Tank Gauging*), *level fluida*, suhu, massa jenis, mikrokontroler, sensor ultrasonik PING, sensor LM35, Sensor Load Cell

## I. PENDAHULUAN

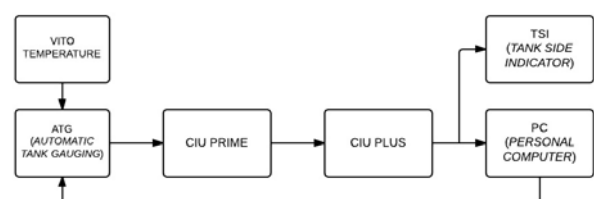
Pengukuran tangki pertama kali dimulai dengan pengukuran manual menggunakan *dipstape* atau *dipstick*. Teknik ini masih digunakan di seluruh dunia dan saat ini masih digunakan untuk kalibrasi mengukur kinerja dan verifikasi[1], namun ketidakpastian pengukuran bukan satu-satunya penyebab kesalahan. Keakurasian pencelupan adalah tugas yang sulit, terutama dengan angin kencang, cuaca dingin, waktu malam hari atau ketika peralatan perlindungan khusus harus digunakan. Kelemahan lain dari pengukuran tangki manual adalah bahwa petugas sering tidak diperbolehkan berada di tangki karena peraturan keselamatan, biaya dan menghabiskan waktu[2].

Sensor cahaya adalah alat yang digunakan untuk mengubah besaran cahaya menjadi besaran listrik [3]. ATG (*Automatic Tank Gauging*) adalah *instrument* ukur penting yang digunakan oleh banyak industri untuk mengukur *level fluida* cair pada sebuah tangki. ATG memiliki bangunan

utama berupa *coupling magnet* dengan konfigurasi magnet khusus dan bandul. *Tank gauging* merupakan istilah yang digunakan untuk penentuan kuantitas *static* produk cairan yang tersimpan pada tangki timbun. Dalam pengawasan aset maupun transaksi jual beli produk BBM (bahan bakar minyak), tingkat akurasi pengukuran *level* menjadi faktor yang sangat penting karena produk yang tersimpan dalam tangki bernilai ekonomi tinggi[4]. PT. Pertamina Depot Plumpang menggunakan ATG Enraf 854 Servo Motor sebagai sistem yang dapat memonitor volume produk BBM pada tangki[4].



Gambar 1. ATG Enraf 854 Servo Motor pada Tangki



Gambar 2. Diagram Blok ATG Enraf 854 Servo Motor

Tiap-tiap bagian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *VITO Temperature Probe* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur suhu produk yang berada di dalam tangki.
2. ATG Enraf 854 merupakan teknik pengukuran tangki yang menggunakan motor servo. Fungsi utama ATG adalah menampilkan/menghitung besaran-besaran *level* (produk/air), suhu dalam tangki, dan massa jenis produk.

3. CIU *Prime* berfungsi untuk mengamati, meneliti dan mengoleksi data yang dapat diproses dari seluruh ATG.
4. Tugas utama dari CIU *Plus* yaitu menghitung data-data yang berasal dari CIU *Prime* dan mengolahnya agar bisa terbaca oleh *computer*.
5. TSI (*Tank Side Indicator*) berfungsi untuk menampilkan *level*, suhu dan data pengukuran lainnya dari alat ukur ATG 854.
6. PC (*Personal Computer*) bertugas untuk monitoring keadaan tangki berdasarkan data yang sudah di hitung dan diolah oleh CIU *Plus* serta dapat memberi perintah *displacer* untuk memonitoring massa jenis cairan produk.

Berdasarkan uraian di atas maka pada penelitian ini akan dirancang suatu prototipe dari alat ukur otomatis ATG (*Automatic Tank Gauging*) yang dipakai pada setiap tangki timbun di kilang dan depot Pertamina. Prototipe alat ukur *digital* ini fungsinya hampir sama dengan ATG (*Automatic Tank Gauging*), tetapi harganya cukup murah, mudah dalam pemrograman kalibrasi sistem dan perawatannya cukup mudah sehingga dapat memudahkan pengoperasian sistem oleh manusia atau operator pada tangki penyimpanan *bulk*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

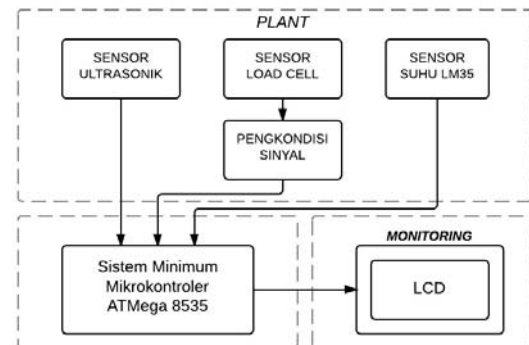
Perancangan sistem ini memerlukan tiga buah sensor yang dapat mendeteksi suhu, volume zat cair dan massa jenis zat cair yang dihasilkan dari sensor suhu LM35, sensor *ultrasonic* PING, sensor berat *load cell*. Sensor suhu mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Tegangan keluaran ini kemudian diubah melalui ADC (*Analog to Digital Converter*) untuk dapat dibaca oleh mikrokontroler, sensor LM35 ini harus dilapisi dengan pelindung yang tahan terhadap cairan agar tidak menyebabkan kerusakan pada LM35, untuk sensor berat *load cell* 5kg, tegangan keluaran pada *load cell* perlu dikuatkan terlebih dahulu agar tegangan dapat terbaca dengan baik dan stabil sebelum masuk ke ADC, sehingga data dari *load cell* dapat terbaca secara *realtime* juga.

Sensor Jarak PING merupakan sensor yang akan mendeteksi adanya benda di depan sensor, keluaran sensor ini berupa tegangan digital yang langsung diolah oleh sistem mikrokontroler ATmega8535. Sensor Ultrasonik PING ini dalam mendeteksi objek adalah dengan mengirimkan gelombang ultrasonik pendek dan kemudian menunggu pantulan dari gelombang yang dipancarkan tadi kembali ke sensor. Sensor mengirim gelombang ultrasonik pendek dengan frekuensi 40 kHz atas perintah mikrokontroler (mengeluarkan pulsa pemicu). Gelombang ini melalui udara kira-kira 1130 kaki/detik, membentur suatu objek dan kemudian kembali ke sensor. Sensor PING ini menyediakan pulsa keluaran ke mikrokontroler yang akan diteruskan ketika gelombang pantulan terdeteksi sensor[5].

Mikrokontroler sebagai kontrol aksi sehingga dapat terbaca oleh LCD. Khusus sensor suhu LM35 dan sensor berat *load cell* merupakan sensor analog sehingga sinyal keluarannya harus dikonversi menjadi sinyal digital melalui ADC (*Analog to Digital Converter*). Mikrokontroler akan membaca nilai ADC yang kemudian akan disimpan sementara dan diolah melalui perhitungan sehingga akan

digunakan untuk menampilkan nilai dari suhu dan massa jenis zat cair sebenarnya yang dihasilkan dari rangkaian sensor ini.

Diagram kotak sistem yang dirancang adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram blok sistem keseluruhan

Tiap-tiap bagian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Sensor Jarak PING merupakan sensor yang akan mendeteksi adanya benda di depan sensor, keluaran sensor ini berupa tegangan *digital* yang langsung diolah oleh sistem mikrokontroler ATmega8535.
2. Sensor suhu LM35 memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan, tegangan keluaran analog ini diolah oleh ADC sebelum masuk ke mikrokontroler ATmega8535.
3. Sensor *density* yang digunakan adalah *load cell*. Fungsinya adalah untuk mengetahui massa jenis zat cair dengan perbandingan berat pada bandul saat di udara dan di dalam zat cair. Keluaran dari *load cell* ini berupa tegangan yang nilainya sangat kecil dalam satuan milivolt, sehingga perlu dikuatkan dengan rangkaian *operational amplifier* lalu dapat diolah oleh ADC sebelum masuk ke mikrokontroler ATmega8535.
4. Rangkaian *operational amplifier load cell*, Setelah sensor (*Load Cell*) mendapat tekanan atau tekanan tegangan ini disesuaikan terlebih dahulu dengan rangkaian pengkondisian sinyal dengan tujuan mencari titik ukur awalnya.
5. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi sebagai media tampilan selama proses pengendalian berlangsung.
6. Catu daya berfungsi sebagai suplai sistem keseluruhan.
7. Mikrokontroler ATmega8535 yang berfungsi sebagai pusat pengendalian pada sistem pengukur volume, suhu dan *density* otomatis ini yang dapat diprogram dengan menggunakan bahasa C.

Perangkat pengukur volume, suhu dan *density* otomatis ini memiliki spesifikasi dan kemampuan yang cukup handal dalam menangani berbagai kemungkinan yang terjadi di lapangan. Berikut adalah perancangan mengenai spesifikasi dan kemampuan dari alat ini:

1. Menghitung volume cairan secara otomatis
2. Mengukur suhu cairan secara otomatis
3. Mengetahui nilai *density* dari cairan secara otomatis
4. Penampil volume, suhu dan *density* cairan menggunakan LCD.

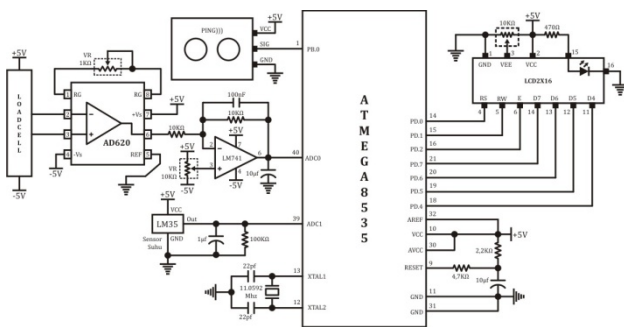
5. Update data volume pada tampilan LCD tiap tiga detik sekali.

ADC pada mikrokontroler ATmega 8535 memiliki 8 *channel input* yang bisa dipakai. Dalam pengukuran ini terbagi atas tiga sensor yaitu sensor suhu, sensor jarak dan sensor beban. Sensor suhu dan sensor beban memakai masing-masing 1 *channel* ADC sehingga total ADC yang terpakai yaitu 2 *channel*, sedangkan untuk sensor jarak langsung masuk ke mikrokontroler tanpa harus melalui ADC karena tegangannya sudah digital yang langsung diolah oleh sistem mikrokontroler.

## B. Perangkat Keras (Hardware)

Pada sub-bab ini, akan dijelaskan tentang beberapa komponen atau rangkaian yang dibutuhkan untuk membangun sebuah sistem yang dirancang untuk membangun sebuah sistem yang dirancang secara keseluruhan, meliputi: sistem minimum mikrokontroler AVR ATmega8535, rangkaian catu daya, dan rangkaian pengkondisi sinyal loadcell.

### 1. Rangkaian Mikrokontroler AVR ATmega8535



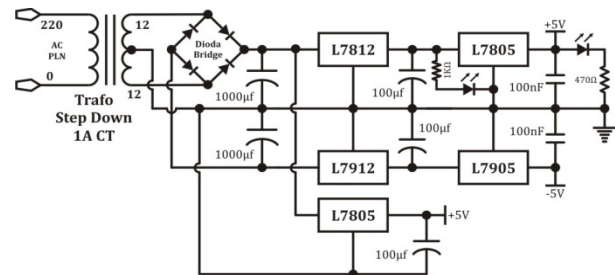
Gambar 4. Rangkaian mikrokontroler ATmega8535

Pada sistem prototipe ini, sistem minimum mikrokontroler memegang peranan penting, yakni sebagai rangkaian sentral yang mengatur kinerja sistem, bagian ini dirancang untuk mampu mengakomodasi dan menangani setiap kejadian yang mungkin terjadi, baik dalam pengelolaan/ manajemen data, maupun penanganan terhadap kegagalan proses. Sistem mikrokontroler ATmega8535 dibentuk dari beberapa piranti masukan-keluaran. Hubungan mikrokontroler ATmega8535 dengan piranti masukan-keluaran seperti sensor PING pada port PB.0, sensor suhu LM35 pada port PA.1, sensor *load cell* pada port PA.0 dan LCD pada port C.

Pada penelitian ini, fungsi utama rangkaian sistem minimum adalah sebagai pengolah ADC, dengan memanfaatkan ADC internal pada mikrokontroler ATmega8535 yang terdapat pada port A. ADC internal pada mikrokontroler ATmega8535 digunakan untuk mengubah sinyal analog yang diterima dari *signal conditioning*, agar dapat diubah menjadi sinyal digital dan dapat diproses. Keluaran dari sensor LM35 yang berupa besaran fisis tersebut kemudian diumpangkan pada ADC internal ATmega8535. Pada rangkaian ini ditambahkan R dan C yang berfungsi sebagai *filter* keluaran tegangan DC yang kemudian diolah oleh mikrokontroler. rangkaian modul sensor seperti terlihat pada gambar diatas.

### 2. Power Supply

Rangkaian *supply* berfungsi sebagai penyedia catu daya untuk keseluruhan sistem. Rangkaian utamanya terdiri dari transformer, rangkaian *bridge*, *filter* dan regulator tegangan.



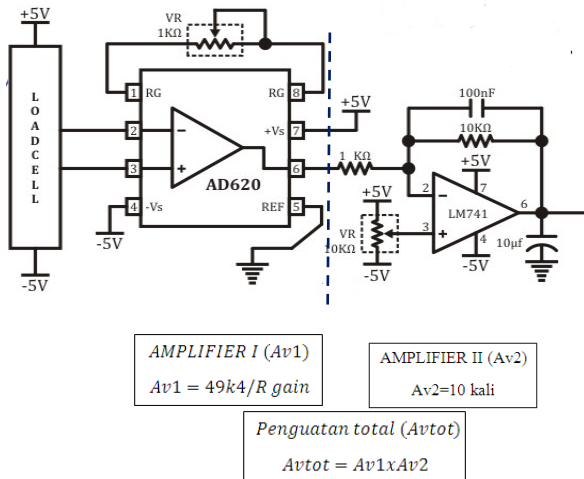
Gambar 5. Power Supply  $\pm 12V$  dan  $\pm 5V$

*Transformer* yang digunakan mempunyai kapasitas arus maksimum sebesar 1 Ampere dengan tegangan *input* 110/220VAC. Keluaran dari *transformer* disearahkan oleh rangkaian penyearah jembatan penuh yang dilengkapi dengan kapasitor. Hasil penyearah dihubungkan ke rangkaian *filter* yang dibangun oleh kapasitor 1000µF/25V untuk keluaran  $\pm 12V$ , tegangan DC yang dihasilkan diumpangkan ke regulator. Terdapat dua jenis regulator yang dipasang, yaitu regulator IC 7812 dan IC 7912 untuk tegangan 12VDC yang digunakan untuk *supply* ke Op Amp *load cell* dan mikrokontroler, sedangkan *supply* untuk operasi sensor suhu dan volume zat cair menggunakan dua jenis regulator IC 7805 dan 7905 untuk tegangan 5VDC yang terdapat pada rangkaian minimum sistem mikrokontroler AVR ATMEGA8535. Regulator 12VDC yang dipakai yaitu regulator tiga terminal 7812 sedangkan tegangan 5VDC adalah regulator tiga terminal 7805.

### C. Perancangan Rangkaian Pengkondisian Sinyal

*Operational amplifier* merupakan IC yang menghasilkan tegangan keluaran *vout*, yang merupakan hasil penguatan terhadap selisih tegangan pada kedua inputnya (*v1* dan *v2*). Perancangan rangkaian pengkondisian sinyal ini diaplikasikan bersama komponen-komponen lainnya, seperti resistor dan kapasitor untuk menghasilkan berbagai operasi matematis, seperti penjumlahan, pengurangan, perkalian, integrasi, dan diferensiasi, untuk dapat bekerja dengan baik, penguat operasional memerlukan catu daya dengan tegangan yang bernilai *positive* (+V) dan tegangan bernilai *negative* (-V) terhadap tanah (*ground*).

Perancangan rangkaian pengkondisian sinyal pertama dilakukan dengan penghitungan secara teoritis guna memperoleh nilai resistor dan kapasitor yang dibutuhkan sesuai dengan inputan yang diperoleh dari tegangan keluaran *load cell*. Berdasarkan pengujian tanpa diberi beban keluaran tanpa menggunakan rangkaian pengkondisian sinyal sangat kecil sekali, dengan menggunakan rangkaian pengkondisian sinyal dapat kita atur penguatannya sampai dengan 10000 kali penguatan.



Gambar 6. Skematik rangkaian Pengkondisian Sinyal Load Cell



Gambar 7. Bentuk Rangkaian Pengkondisian Sinyal

### III. HASIL DAN ANALISIS

Prototipe ATG (*Automatic tank gauging*) yang telah dirancang, dibagi menjadi beberapa bagian yaitu, *board* utama rangkaian minimum mikrokontroler, rangkaian *power supply*, dan rangkaian *signal conditioning*. Keseluruhan sistem prototipe yang telah dirancang, perlu diuji apakah hasilnya telah sesuai dengan yang diharapkan dan dijelaskan tentang analisa dari hasil pengujian-pengujian yang telah dilakukan dan dipaparkan.



Gambar 8. Hasil Prototipe ATG

#### A. Pengujian sensor LM35 untuk pengukuran suhu

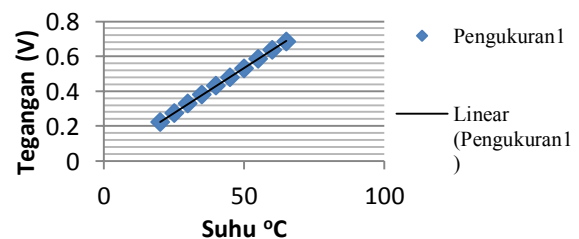
Pada penelitian ini, sensor yang digunakan adalah LM35. Pengujian sensor LM35 ini bertujuan untuk mengetahui apakah sensor yang digunakan dalam penelitian ini dapat berfungsi dengan baik dan menguji apakah sensor LM35 ini dapat beroperasi dalam cairan bahan bakar serta sesuai dengan teori karakteristik sensornya. Sensor suhu yang digunakan pada rangkaian ini tipe LM35. Secara teori

hubungan antara suhu dan tegangan pada sensor LM35 ini adalah linier, dengan sensitivitas 10mV/°C. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan hasil yang sebenarnya apakah sesuai dengan teori.

TABLE I  
HUBUNGAN SUHU DAN TEGANGAN KELUARAN LM35

Suhu (°C)	Tegangan (volt)
65	0,686
60	0,636
55	0,585
50	0,532
45	0,480
40	0,431
35	0,381
30	0,329
25	0,275
20	0,223

#### Hubungan Suhu dan Tegangan



Gambar 9. Grafik Hubungan Suhu dan Tegangan

Penelitian yang dilakukan antara hubungan suhu dan tegangan dengan kenaikan tiap 5°C seperti yang ditunjukkan pada tabel 1.

Sehingga di dapat:

$$\Delta 1 = 0,686 - 0,636 = 50 \text{ mV}$$

$$\Delta 2 = 0,636 - 0,585 = 51 \text{ mV}$$

$$\Delta 3 = 0,585 - 0,532 = 53 \text{ mV}$$

$$\Delta 4 = 0,532 - 0,480 = 52 \text{ mV}$$

$$\Delta 5 = 0,480 - 0,431 = 49 \text{ mV}$$

$$\Delta 6 = 0,431 - 0,381 = 50 \text{ mV}$$

$$\Delta 7 = 0,381 - 0,329 = 52 \text{ mV}$$

$$\Delta 8 = 0,329 - 0,275 = 54 \text{ mV}$$

$$\Delta 9 = 0,275 - 0,223 = 52 \text{ mV}$$

Maka, data kenaikan tegangan rata-rata tiap 5°C :

$$\frac{50 + 51 + 53 + 52 + 49 + 50 + 52 + 54 + 52}{9} = 51,4 \text{ mV}$$

Sehingga, kenaikan tiap derajat celsiusnya, tegangan akan naik sebesar :

$$\frac{51,4}{5} = 10,28 \text{ mV}$$

Sensitivitas LM35 yang diuji sebesar **10,28mV/°C**, maka jika dibandingkan dengan teori yang di jadikan acuan, terdapat selisih sensitivitas sensor, sebesar:

$$\frac{10,28 - 10}{10} \times 100 = 2,8\%$$

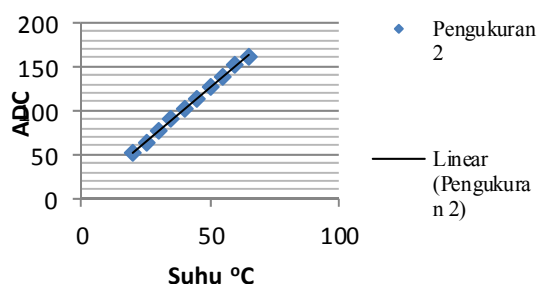
Perbedaan ini dapat terjadi karena daerah operasi percobaan penelitian yang hanya berada antara *range* 20°C hingga 65°C, dikarenakan data suhu yang yang terjadi pada alat ATG yang sebenarnya berada disuhu 25°C hingga 35°C, jadi tidak perlu pengukuran percobaan yang terlalu rendah ataupun tinggi. Perbedaan pengukuran sebesar 2,8% ini terjadi karena sensor LM35 dilapisi oleh pelindung yang berfungsi agar sensor LM35 ini tahan didalam cairan, sehingga tidak ter baca dengan sempurna.

Pengujian selanjutnya yaitu hubungan suhu dengan ADC dilakukan dengan rentang suhu 20°C – 65°C, dengan tujuan agar mendapat perubahan yang lebih akurat tiap 5°C.

TABLE II  
HUBUNGAN SUHU DAN ADC

ADC(bit)	Suhu(°C)
162	65
151	60
139	55
126	50
114	45
102	40
90	35
77	30
64	25
52	20

### Hubungan Suhu dan ADC



Gambar 10. Grafik Hubungan Suhu dan ADC

Menentukan persamaan agar di dapat perhitungan yang linier antara ADC dan suhu, yaitu dengan menggunakan regresi linier :

$$ADC = a + bT \quad (1)$$

$$a = \frac{(\sum ADC)(\sum T^2) - (\sum T)(\sum ADC)}{n(\sum T^2) - (\sum T)^2} \quad (2)$$

$$b = \frac{n(\sum ADC) - (\sum T)(\sum ADC)}{n(\sum T^2) - (\sum T)^2} \quad (3)$$

Sehingga, di dapat persamaan untuk mencari suhu dengan ADC :

$$ADC = 3,18 + 2,46T \quad (4)$$

Persamaan diatas dapat digunakan untuk dikonversikan ke nilai suhu, sehingga memudahkan peneliti dalam membuat program yang akan diolah oleh mikrokontroler.

TABLE III  
HASIL PENGUKURAN SUHU UNTUK SEMUA JENIS BAHAN BAKAR MINYAK

Hasil pengukuran suhu pada cairan premium				
Volume Cairan (ml)	Suhu (°C)	LCD (°C)	Error	% Error
2000	27,5	27,1	0,4	1,5
2500	27,5	27,1	0,4	1,5
3000	27,5	27,1	0,4	1,5
3500	27,5	26,7	0,8	2,9
4000	27,5	26,7	0,8	2,9
Rata-rata % Error				2,06
Hasil pengukuran suhu pada cairan biosolar				
Volume Cairan (ml)	Suhu (°C)	LCD (°C)	Error	% Error
2000	28	27,1	0,9	3,2
2500	28	27,1	0,9	3,2
3000	28	27,1	0,9	3,2
3500	28	27,1	0,9	3,2
4000	28	27,1	0,9	3,2
Rata-rata % Error				3,2
Hasil pengukuran suhu pada cairan pertamax				
Volume Cairan (ml)	Suhu (°C)	LCD (°C)	Error	% Error
2000	27	26,3	0,7	2,6
2500	27	26,3	0,7	2,6
3000	27	26,7	0,3	1,1
3500	27	26,7	0,3	1,1
4000	27	26,7	0,3	1,1
Rata-rata % Error				1,7
Hasil pengukuran suhu pada cairan minyak tanah				
Volume Cairan (ml)	Suhu (°C)	LCD (°C)	Error	% Error
2000	27,5	27,1	0,4	1,5
2500	27,5	27,1	0,4	1,5
3000	27,5	27,1	0,4	1,5
3500	27,5	26,7	0,8	2,9
4000	27,5	26,7	0,8	2,9
Rata-rata % Error				2,06

Data yang dapat dihitung deviasi pengukurannya dengan mengacu pada pengukuran menggunakan *thermometer* analog, maka deviasi pengukuran data suhu ATG dan pengukuran data *thermometer* analog adalah sebagai berikut:

$$Error = \left| \frac{Thermometer Analog - Data suhu ATG}{Thermometer Analog} \right| \times 100\% \quad (5)$$

Hasil dari tabel telah tertera nilai masing-masing persentase kesalahan pengukuran, jika dibuat rata-rata persentase kesalahan dari seluruh percobaan dengan alat yang dirancang sebesar :

Rata-rata % kesalahan

4

(6)

Hasil perhitungan didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran suhu, mencapai 2,26%. Faktor yang mempengaruhi *error* dikarenakan sensor dilapisi oleh pelindung agar tahan didalam cairan sehingga sedikit mengganggu pembacaan suhu cairan. Kalibrasi sensor dilakukan dengan pengukuran tegangan keluaran dari LM35 lalu dikonversi menjadi data ADC yang dapat dikalibrasi penghitungannya agar mendapat nilai suhu yang sesuai acuan pengukuran dari *thermometer* analog.

### B. Pengujian Sensor Ultrasonik PING untuk pengukuran volume cairan

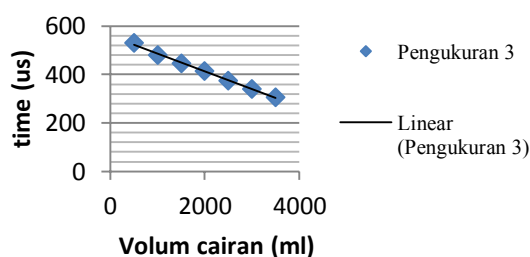
Sistem akan melakukan inisialisasi kemudian membaca sensor PING lewat perubahan yang terjadi pada tinggi cairan bahan bakar minyak jenis premium, bio solar, pertamax, dan minyak tanah, jika terjadi perubahan maka sistem akan melakukan pemrosesan data terhadap perubahan tersebut. Setelah itu sistem akan menampilkan hasil pemrosesan data, yakni volume cairan tersebut pada LCD. Cara kerja sensor ultrasonik PING untuk pengukuran volum cairan ini berdasarkan lamanya waktu dari gelombang ultrasonik yang dipancarkan sampai diterima kembali oleh sensor.

Pengujian pertama yaitu mengetahui kecepatan gelombang suara pada sensor PING terhadap volum cairan yang terdeteksi dilakukan dengan rentang volum cairan pada penelitian ini yang dibatasi sebesar 500ml sampai 3500ml, dengan tujuan agar mendapat perubahan yang lebih akurat tiap 500ml.

TABLE IV  
KECEPATAN GELOMBANG SUARA PADA SENSOR PING TERHADAP VOLUM CAIRAN

Volum (ml)	Time (us)
500	530
1000	481
1500	446
2000	415
2500	374
3000	340
3500	307

### Kecepatan gelombang suara pada sensor PING terhadap volum cairan



Gambar 11. Kecepatan gelombang suara pada sensor PING terhadap volum cairan

Menentukan persamaan agar di dapat perhitungan yang linier antara kecepatan gelombang suara pada sensor PING terhadap volum cairan, yaitu dengan menggunakan regresi linier :

$$ADC = a + bT \quad (7)$$

$$a = \frac{(\sum time)(\sum V^2) - (\sum V)(\sum Vtime)}{n(\sum V^2) - (\sum V)^2} \quad (8)$$

$$b = \frac{n(\sum Vtime) - (\sum V)(\sum time)}{n(\sum V^2) - (\sum V)^2} \quad (9)$$

Sehingga, di dapat persamaan untuk mencari volum cairan dengan waktu :

$$time = 559,43 - 0,073V \quad (10)$$

Hasil dari persamaan diatas dapat digunakan untuk dikonversikan ke nilai volum cairan yang terdapat pada tabel 4.

Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik PING Pada Bahan Bakar Minyak:

TABLE V  
HASIL PENGUKURAN VOLUM UNTUK SEMUA JENIS BAHAN BAKAR MINYAK

Hasil pengukuran volum cairan premium			
Volum Cairan yang dimasukkan (ml)	Tampilan LCD (ml)	Error	%Error
2000	2066	66	3,3
2500	2500	0	0
3000	3000	0	0
3500	3583	83	2,3
4000	3937	63	1,5
Rata-rata % Error			1,4
Hasil pengukuran volum cairan biosolar			
Volum Cairan yang dimasukkan (ml)	Tampilan LCD (ml)	Error	%Error
2000	2000	0	0
2500	2500	0	0
3000	2943	57	1,9
3500	3548	48	1,3
4000	3967	33	0,8
Rata-rata % Error			0,8
Hasil pengukuran volum cairan pertamax			
Volum Cairan yang dimasukkan (ml)	Tampilan LCD (ml)	Error	%Error
2000	2007	7	0,3
2500	2549	49	1,9
3000	2965	35	1,1
3500	3500	0	0
4000	4066	66	1,6
Rata-rata % Error			0,9
Hasil pengukuran volum cairan minyak tanah			
Volum Cairan yang dimasukkan (ml)	Tampilan LCD (ml)	Error	%Error

dimasukan (ml)			
2000	2000	0	0
2500	2549	49	1,9
3000	2900	100	3,3
3500	3507	7	0,2
4000	4066	66	1,6
Rata-rata % Error			1,4

Pada pengujian ini menggunakan wadah berbentuk tabung berkapasitas 10 liter, maka sensor akan mendeteksi pantulan gelombang ultrasonik dari cairan, lalu hasil pembacaan ditampilkan pada LCD. Pembacaan tersebut kemudian dibandingkan dengan banyaknya cairan yang dituangkan ke wadah tersebut.

Hasil percobaan tabel 5. Menunjukkan bahwa sistem memiliki *error* rata-rata sebesar 36,5ml dan persentase kesalahannya sebesar 1,1%. Nilai ini didapat dengan menjumlahkan semua nilai *error* dari setiap pengujian dibagi jumlah pengujian. Untuk mengetahui perhitungan *error* rumusnya sebagai berikut.

Faktor kesalahan pengukuran volum cairan premium, solar, pertamax, dan minyak tanah dengan rumus:

$$X = \frac{\sum \text{Error}}{\text{Jumlah pengujian}} \quad (11)$$

Faktor kesalahan rata rata *error* dari keempat percobaan cairan pada keempat tabel diatas adalah:

$$Z = \frac{\sum \text{Error}}{\text{Jumlah pengujian}} \quad (12)$$

Tabel telah tertera nilai masing-masing persentase kesalahan pengukuran, jika dibuat rata-rata persentase kesalahan dari seluruh percobaan dengan alat yang dirancang sebesar :

$$\frac{\sum \text{rata-rata \% kesalahan}}{4} \quad (13)$$

Hasil percobaan pengukuran volum cairan didapat rata-rata *error* sebesar 36,5ml dan persentase kesalahan sebesar 1,1% dari total pengukuran yang diuji sampai sebesar 4000ml, *error* yang terjadi ini disebabkan oleh beberapa faktor, yang pertama jenis sensor ultrasonik PING ini kurang sensitif pada cairan dikarenakan cairan memiliki kerapatan zat yang berbeda-beda sehingga pantulan gelombang ultrasonik yang dipancarkan tidak langsung terpantul kembali ke sensor. Faktor selanjutnya terjadi *error* juga disebabkan oleh sifat cairan bahan bakar minyak yang disebut fenomena kavitasi yang merupakan hasil dari interaksi gelombang ultrasonik dalam fluida cair, kavitasi merupakan peristiwa terbentuknya gelembung-gelembung uap didalam cairan sebagai akibat turunnya tekanan cairan dibawah tekanan uap jenuhnya sehingga pembacaan sensor ultrasonik menjadi terganggu dan terjadi *error*.

### C. Pengujian sensor load cell untuk pengukuran massa jenis cairan

Pengujian ini mengetahui hubungan antara tegangan yang dihasilkan oleh pengkondisian sinyal *load cell* dengan perubahan ADC yang ditimbulkan.

TABLE VI  
HUBUNGAN ANTARA TEGANGAN DAN ADC LOAD CELL

Jenis Cairan	Tegangan (volt)	ADC
Premium	1,75 volt	424
Biosolar	1,78 volt	435
Pertamax	1,76 volt	428
Minyak Tanah	1,77 volt	431

Dari hubungan ini, kemudian dapat dirumuskan menjadi sebuah perhitungan untuk konversi dari ADC menjadi nilai massa jenis setiap cairan yang diujicobakan. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati perubahan tegangan pada rangkaian pengkondisian sinyal load cell yang terukur oleh multimeter dan membandingkan dengan nilai ADC yang ditampilkan di LCD.

Terdapat perbedaan berat yang dihasilkan timbangan digital, tetapi perbedaan itu sebagai bahan kalibrasi dalam pengujian sensor ini dan harus dibuat disesuaikan dengan karakteristik massa jenis dari bahan bakar premium, biosolar, pertamax, dan minyak tanah. Premium massa jenisnya antara 715kg/m<sup>3</sup>–780kg/m<sup>3</sup>, bio solar massa jenisnya antara 850kg/m<sup>3</sup>–890kg/m<sup>3</sup>, pertamax massa jenisnya antara 710kg/m<sup>3</sup>–770kg/m<sup>3</sup>, dan minyak tanah massa jenisnya maksimal 835kg/m<sup>3</sup>. sehingga data itu sebagai acuan dalam pembuatan ataupun kalibrasi dari prototipe ATG ini.

TABLE VII  
HASIL PENGUKURAN MASSA JENIS UNTUK SEMUA JENIS BAHAN BAKAR MINYAK

Hasil pengujian pembacaan massa jenis bahan bakar minyak jenis premium				
Percobaan dengan Berat Bandul 1000 gram	Perhitungan Massa Jenis Cairan (kg/m <sup>3</sup> )	Tampilan LCD (kg/m <sup>3</sup> )	Error (kg/m <sup>3</sup> )	%Error
I	711 kg/m <sup>3</sup>	711 kg/m <sup>3</sup>	0	0
II	711 kg/m <sup>3</sup>	711 kg/m <sup>3</sup>	0	0
III	711 kg/m <sup>3</sup>	711 kg/m <sup>3</sup>	0	0
IV	711 kg/m <sup>3</sup>	711 kg/m <sup>3</sup>	0	0
V	711 kg/m <sup>3</sup>	711 kg/m <sup>3</sup>	0	0
Σ%error				0
Hasil pengujian pembacaan massa jenis bahan bakar minyak jenis biosolar				
Percobaan dengan Berat Bandul 1000 gram	Perhitungan Massa Jenis Cairan (kg/m <sup>3</sup> )	Tampilan LCD (kg/m <sup>3</sup> )	Error (kg/m <sup>3</sup> )	%Error
I	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>	0	0
II	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>	0	0
III	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>	0	0
IV	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>	0	0
V	890 kg/m <sup>3</sup>	890 kg/m <sup>3</sup>	0	0
Σ%error				0
Hasil pengujian pembacaan massa jenis bahan bakar minyak jenis pertamax				
Percobaan dengan Berat Bandul 1000 gram	Perhitungan Massa Jenis Cairan (kg/m <sup>3</sup> )	Tampilan LCD (kg/m <sup>3</sup> )	Error (kg/m <sup>3</sup> )	%Error
I	715 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>	0	0
II	715 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>	0	0



III	715 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>	0	0
IV	715 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>	0	0
V	715 kg/m <sup>3</sup>	715 kg/m <sup>3</sup>	0	0
$\Sigma\%error$				0
<b>Hasil pengujian pembacaan massa jenis bahan bakar minyak jenis minyak tanah</b>				
Percobaan dengan Berat Bandul 1000 gram	Perhitungan Massa Jenis Cairan (kg/m <sup>3</sup> )	Tampilan LCD (kg/m <sup>3</sup> )	Error (kg/m <sup>3</sup> )	%Error
I	835 kg/m <sup>3</sup>	835 kg/m <sup>3</sup>	0	0
II	835 kg/m <sup>3</sup>	835 kg/m <sup>3</sup>	0	0
III	835 kg/m <sup>3</sup>	835 kg/m <sup>3</sup>	0	0
IV	835 kg/m <sup>3</sup>	835 kg/m <sup>3</sup>	0	0
V	835 kg/m <sup>3</sup>	835 kg/m <sup>3</sup>	0	0
$\Sigma\%error$				0

Peletakan *load cell* dan bandul harus tetap dan tidak dapat berubah ubah karena dapat mengganggu kinerja dari sensor *load cell* yang sangat *sensitive*. Berubah sedikit peletakan akan sangat mempengaruhi pembacaan sensor *load cell* tersebut. Dari hasil pengujian dapat dilakukan perhitungan tingkat kesalahan (*error*).

Data yang dapat dihitung deviasi pengukurannya dengan mengacu pada pengukuran menggunakan timbangan *digital*, maka deviasi pengukuran data massa jenis ATG dan pengukuran data timbangan *digital* adalah sebagai berikut:

$$Error = \left| \frac{Massa\ jenis\ cairan - Hasil\ data\ ATG}{Massa\ jenis\ cairan} \right| \times 100\% \quad (14)$$

Hasil dari tabel telah tertera nilai masing-masing persentase kesalahan pengukuran, jika dibuat rata-rata persentase kesalahan dari seluruh percobaan dengan alat yang dirancang sebesar :

$$\frac{Error\ rata-rata\ \%\ kesalahan}{4} \quad (15)$$

Perhitungan didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran massa jenis adalah 0%. Faktor pertama keberhasilan pembacaan massa jenis cairan bahan bakar ini dikarenakan setiap bahan bakar mempunyai massa jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi gaya dorong keatas dari bandul yang dimasukkan kedalam zat cair tersebut yang berpengaruh pada pembacaan sensor *load cell*, faktor selanjutnya dikarenakan nilai tegangan dan ADC pada rangkaian sistem ini stabil dan juga tegangan referensi ADC mikrokontroler nilainya tetap tidak berubah. Kalibrasi sensor dilakukan dengan pengukuran tegangan keluaran dari sensor *load cell* lalu dikonversi menjadi data ADC yang dapat dikalibrasi penghitungannya agar mendapat nilai suhu yang sesuai acuan pengukuran dari massa jenis cairan setiap bahan bakar minyak.

#### IV. KESIMPULAN

Prototipe yang telah dirancang ini mampu mengukur volum, suhu dan massa jenis cairan bahan bakar minyak jenis premium, solar, pertamax, dan minyak tanah pada tangki timbun. Hasil pengukuran dapat langsung ditampilkan pada LCD secara *realtime*. Hasil percobaan pengukuran volum cairan didapat rata-rata *error* sebesar 36,5ml dan dan persentase kesalahan sebesar 1,1% dari total pengukuran yang diuji sebesar 4000ml, *error* ini disebabkan

oleh beberapa faktor yaitu kerapatan zat cair yang berbeda-beda dan peristiwa kavitasi yang merupakan terbentuknya gelembung-gelembung uap didalam cairan. Hasil pengukuran suhu menggunakan sensor LM35 didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran suhu mencapai 2,26% yang dikarenakan sensor dilapisi oleh pelindung agar tahan didalam cairan sehingga sedikit mengganggu pembacaan suhu cairan. Pada pengukuran massa jenis didapat bahwa nilai *error* akurasi pengukuran massa jenis adalah 0%. Faktor pertama keberhasilan pembacaan massa jenis cairan bahan bakar ini dikarenakan setiap bahan bakar mempunyai massa jenis yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi gaya dorong keatas dari bandul yang dimasukkan kedalam zat cair tersebut yang berpengaruh pada pembacaan sensor *load cell*, faktor selanjutnya dikarenakan nilai tegangan dan ADC pada rangkaian sistem ini stabil dan juga tegangan referensi ADC mikrokontroler nilainya tetap.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [4] Pedoman Organisasi Terminal Bahan Bakar Minyak Jakarta Group.
- [1] Anonim.2007.Pedoman Desain Terminal Automation System. Pusat Teknologi Instrumentasi & otomatisasi: ITB
- [2] \_\_\_\_\_. 2009. Art of Tank Gauging. Diakses pada 10 Januari 2014, dari [http://enraf.ru/userfiles/File/4416650\\_rev4.pdf](http://enraf.ru/userfiles/File/4416650_rev4.pdf)
- [3] Wiryadinata R., J. Lelono, Alimuddin, Aplikasi Sensor LDR (Light Dependent Resistant) Sebagai Warna Berbasis Mikrokontroler, Jurnal Sistem Komputer, Vol. 4, No. 1, Mei 2014.
- [4] \_\_\_\_\_. 2010. Instruction Manual Series 854 ATG level gauge. Diakses pada 10 Januari 2014, dari [http://honeywellprocess.com/library/support/public/documents/4416220\\_Rev6.pdf](http://honeywellprocess.com/library/support/public/documents/4416220_Rev6.pdf)
- [5] \_\_\_\_\_. 2010. Cara Kerja Sensor PING. Diakses pada 14 Januari 2013, dari <http://fahmizaleeits.wordpress.com/tag/cara-kerja-sensor-ping>

# Implementasi *Automatic Packet Reporting System (APRS)* Untuk Paket Data Pemantauan dan Pengukuran

Arief Goeritno<sup>1</sup>, Rakhmad Yatim<sup>1</sup>, dan Dwi Jatmiko Nugroho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Penelitian *Electronic Equipment of System Engineering (EASE)*, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor

**Abstrak**— Telah dilakukan implementasi *Automatic Packet Reporting System (APRS)* untuk paket data pemantauan dan pengukuran melalui tujuan penelitian, berupa: a) penyetelan program aplikasi pada jaringan *APRS* dan b) pengukuran terhadap penerimaan data berdasarkan kinerja sensor-sensor. Penyetelan program aplikasi *APRS* merupakan konfigurasi perangkat lunak untuk *APRS* yang akan digunakan pada stasiun penerimaan data *APRS* dengan program aplikasi yang biasa digunakan, yaitu *hyperterminal* dan *UI-View 32*. Pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja sensor yang dilakukan melalui proses perekaman pada stasiun penerimaan data *APRS*. Kinerja sensor-sensor akan diamati pada stasiun pengiriman dan data hasil pengamatan akan dapat diterima pada stasiun penerimaan secara real time. Program aplikasi berbasis *hyperterminal* dan *UI View 32* telah berhasil melakukan proses *handshaking* antara *Terminal Node Controller (TNC)* dan komputer, sehingga data telemetri dari stasiun pengiriman paket data dapat diterima di stasiun penerimaan. Kelebihan *UI-View 32*, yaitu (i) dapat mengetahui langsung posisi stasiun *APRS* yang diamati dan stasiun *APRS* lain ke bentuk media *visual* yang ditampilkan dalam bentuk *mapping* posisi, (ii) lebih memberikan kemudahan dalam melakukan proses pengamatan dan *recording* data telemetri secara bersamaan, dan (iii) disediakan menu bagi pengguna *APRS* untuk melakukan pengiriman pesan berbentuk *text* kepada pengguna *APRS* lain. Data telemetri dapat diamati pada stasiun penerimaan dan dapat diperoleh secara *real time* dengan format: **YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:03:49]: <UI>: T#010,008,093,004,122,075**. Notifikasi **YB0LRB-11** merupakan stasiun pengiriman paket data telemetri, kemudian data tersebut akan diterima pada stasiun penerima **YD1PRY** dengan format: **YD1PRY-2>APLPN,ARISS [05/18/2014 04:03:07]: <UI>: !06.30.37S/106.48.26E#**. Notifikasi tersebut merupakan pengiriman informasi data posisi oleh stasiun **YD1PRY** untuk inialisasi pada jaringan *APRS*. Stasiun **YB0LRB-11** ketika mengirim paket data telemetri dengan format: **YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:00:49]: <UI>: T#001,004,035,005,122,075**. Paket data dari stasiun **YB0LRB** yang dipancar ulang atau *digipeater* dengan format: **YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\* [05/18/2014 04:00:50]: <UI>: T#001,004,035,005,122,075**. Sensor pengukuran berkinerja relatif stabil, walaupun terdapat nilai simpangan pengukuran sebesar 1 cm atau mempunyai persentase kesalahan sebesar 1,7%.

**Kata-kata kunci:** *APRS*, paket data, pemantauan dan pengukuran.

Abstract---Implementation of *APRS* for monitoring and measuring of data packets have been performed through research purposes,

such as: (a) setting in the application program for the *APRS* network and (b) the measuring against the receiving data based on the performances of sensors. Setting in application program for *APRS* is software configuration to be used on the sending station of *APRS* data with commonly used application programs, namely *hyperterminal* and *UI-View 32*. Measuring of data reception based on the performance of the sensors is done through the process of recording in the receiving station of the *APRS* data. Performance of the sensors will be observed at sending station and observation data will be received at the receiving station in real time. The application program for the *APRS* network based on *hyperterminal* and *UI View 32* has managed to do the handshaking process between the *TNC* and the computer, so that the telemetry data from the sending station of data packets can be received at the receiving station. The *UI-View 32* has exceeded, namely (i) can determine directly the position of the observed *APRS* stations and other *APRS* stations to form visual media that is displayed in the form of mapping positions, (ii) gives more ease in the process of observation and recording telemetry data simultaneously, and (iii) provided a menu for *APRS* users to make deliveries in the form of text messages to the other *APRS* users. Telemetry data can be observed at the receiving station, and can be obtained in real time with the format: **YB0LRB-11> BEACON, WIDE2-1 [18/05/2014 04:03:49]: <UI>: T # 010,008,093,004,122,075**. Notification of **YB0LRB-11** is a package delivery station telemetry data, then the data is received at the receiving station of **YD1PRY** the format: **YD1PRY-2> APLPN, ARISS [18/05/2014 04:03:07]: <UI>: !06:30.37S / 106.48.26E #**. Such notification is sending position data information by **YD1PRY** station to initialize the *APRS* network. **YB0LRB-11** station when sending telemetry data packet format: **YB0LRB-11> BEACON, WIDE2-1 [18/05/2014 04:00:49]: <UI>: T # 001,004,035,005,122,075**. Data packets from the **YB0LRB** station retransmitted or digipeater with the format: **YB0LRB-11> BEACON, YD1PRY-2, WIDE2 \* [05/18/2014 04:00:50]: <UI>: T # 001,004,035,005,122,075**. Measuring of sensor has performed relatively stable, despite the value of the measurement deviation of 1 cm or have a percentage error of 1.7%.

**Key words:** *APRS*, data packets, monitoring and measuring.

## I. PENDAHULUAN

*Automatic Packet Reporting System (APRS)* telah terdaftar dan dimiliki oleh Bob Bruninga, seorang operator radio amatir dengan *callsign* **WB4APR** [1]. Saat awal, sesungguhnya hanya pengiriman informasi mengenai posisi atau lokasi, walaupun kemudian berkembang dengan tambahan informasi mengenai cuaca dan layanan pesan singkat untuk *chat*. *Automatic Packet Reporting System (APRS)* dapat menjadi sarana komunikasi alternatif di daerah bencana, terutama jika ketiadaan sinyal dari alat komunikasi berbasis *Global System for Mobile Communication (GSM)* dan *Code Division Multiple Access (CDMA)* atau sarana komunikasi yang ada telah lumpuh [2].

Sasaran yang ingin dicapai dari penggunaan APRS dalam bidang kebencanaan adalah efektivitas dalam rangka menolong orang lain, yaitu sedapat mungkin menyampaikan informasi secara cepat, akurat, dan dapat dikelola dengan baik, sehingga bantuan dapat cepat datang dan dapat meminimalkan jumlah korban jiwa dan kondisi korban yang bertambah parah[2]. *Automatic Packet Reporting System (APRS)* adalah aplikasi radio paket untuk pengiriman data yang cepat dan terpercaya dan merupakan protokol komunikasi yang secara *real-time* diperuntukkan bagi pertukaran atau penyampaian data dalam jumlah besar, secara data dalam jaringan secara *multi-user*. Terdapat perbedaan antara APRS dan radio paket konvensional, dimana APRS [3,1,4] hanya mengenal 4 tipe paket, yaitu posisi/objek, status, pesan, dan antrian.

Secara mendasar, APRS terdiri atas dua buah sistem, yaitu (i) sistem pengirim dan (ii) penerima [4,1]. Kebutuhan pada sistem penerima berupa sensor, transduser, dan konverter analog ke digital, atau sebuah alat penerima sensor lokasi (GPS) yang terhubung ke *encoder packet* dan pemancar[4]. Kebutuhan pada sistem penerima berupa penerima gelombang radio yang terhubung ke komputer [1]. Satu stasiun APRS akan mengubah data dari sensor atau posisi yang ditunjukkan oleh *Global Positioning System (GPS)* menjadi format radio paket (*AX.25 UI Frame*) yang kemudian akan dipancarkan melalui gelombang radio, dengan kecepatan 1200 bps untuk pita (*band*) frekuensi pada *Very High Frequency (VHF)* ke atas atau 300 bps untuk pita frekuensi pada *High Frequency (HF)* [3]. Jaringan stasiun APRS yang cukup luas, pergerakan satu stasiun APRS dalam kota dapat dijejaki[3], karena radio amatir yang berbasis sistem real time real-time tactical digital communications protocol untuk pertukaran banyak stations yang ada di seluruh area. Sewaktu pengiriman paket data digunakan *unconnected mode (one-to-many)*, karena APRS sebagai sebuah *multi-user data network* [3,5], berbeda dengan *radio packet* biasa yang pada umumnya digunakan *connected mode (one-to-one)*. Keuntungan lain dari *unconnected mode*, adalah sangat efisien karena hanya dengan satu paket, seluruh informasi sudah terpancarkan, dibandingkan dengan *connected mode* yang memerlukan paling sedikit lima paket untuk pengiriman informasi yang sama [3].

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, telah dilakukan implementasi APRS untuk paket data pemantauan dan pengukuran, melalui perolehan: a) penyetelan program aplikasi pada jaringan APRS dan b) pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja sensor-sensor.

## II. BAHAN DAN METODE

### A. Bahan

Untuk keperluan pelaksanaan metode penelitian, diperlukan bahan penelitian, berupa: (i) dua buah *terminal node controller (TNC)*; (ii) radio *transmitter* dengan pita (*band*) frekuensi pada *Very High Frequency (VHF)* dan antena; (iii) radio *transceiver* dengan pita frekuensi pada *VHF* dan antena; (iv) catu daya di stasiun pengirim data; (v) rangkaian elektronika sistem sensor, transduser, dan konverter analog ke digital; (vi) *pigtail* antena, (vii) kabel *AWG*, (viii) boks modul stasiun pengiriman paket data, (ix) sistem catu daya untuk stasiun penerimaan data, (x) pengawatan *serial RS-232*, (xi) program aplikasi: *Hyperterminal*, *UI-View 32*, dan *Microsoft Excel*.

Spesifikasi teknis *TNC*[6], yaitu:

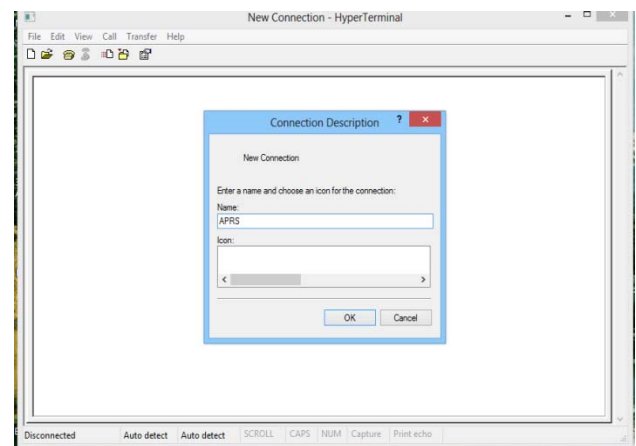
- (i) Dimensi: 21 mm x 133 mm x 133 mm;
- (ii) Berat: 0,32 kg;
- (iii) Catu daya: 6~25 Vdc, ≤ 30 mA (*LEDs on, unit active*) dan 6~25Vdc, ≤ 15 mA (*LEDs off, unit inactive*);
- (iv) Port sambungan: DB-9 (radio); DB-25 (komputer/data terminal);
- (v) ADC: Dua masukan; 0~5 volt dc, akurasi 8-bit;
- (vi) Kecepatan data: 300, 400, 600, disarankan 1200 bps;
- (vii) PTT outout: *Open drain*, +50 Vdc max., 200 mA max.;
- (viii) Modulasi: 1200 bps FSK full duplex CCITT V.23;1300 Hz. (bit 0)/2100 Hz. (bit 1);
- (ix) Mode operasi: *Packet, WeFax, KISS, XKISS, HOST, GPS, MODEM*;
- (x) Indikator Leds: *Power, Xmit, Rcv, Connected, Status, Mail (user option on/off)*;
- (xi) Remote Control Access: *External Reset*;
- (xii) Protokol operasi: *AX.25 Levels 1 and 2*;
- (xiii) Watchdog timer: ± 2,5 menit.

### B. Metode

Metode penelitian perlu dilakukan, agar tujuan penelitian dapat diperoleh melalui pentahapan pada 1) penyetelan pada program aplikasi untuk jaringan APRS dan 2) pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja sensor-sensor.

#### 1) Penyetelan pada program aplikasi untuk jaringan APRS

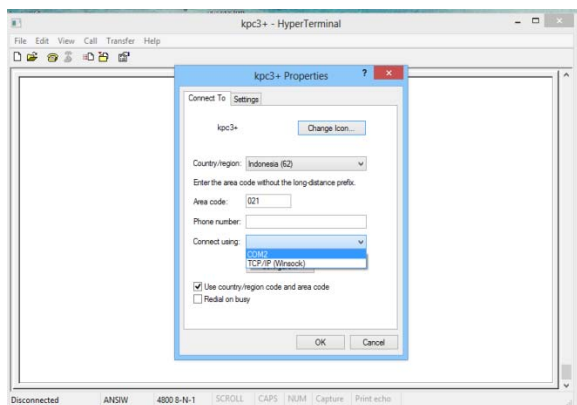
Penyetelan pada program aplikasi untuk jaringan APRS merupakan konfigurasi perangkat lunak untuk APRS yang akan digunakan pada stasiun penerimaan data APRS. Program aplikasi yang biasa digunakan, meliputi *hyperterminal* dan *UI-View 32* [4,7,8]. Tampilan awal program aplikasi *hyperterminal*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Tampilan awal program aplikasi hyperterminal

Ditunjukkan pada Gambar 1, bahwa diperlukan pengetikan APRS pada kolom *Name* untuk membuat nama atau identitas menu yang dilanjutkan dengan penge-klik-an OK.

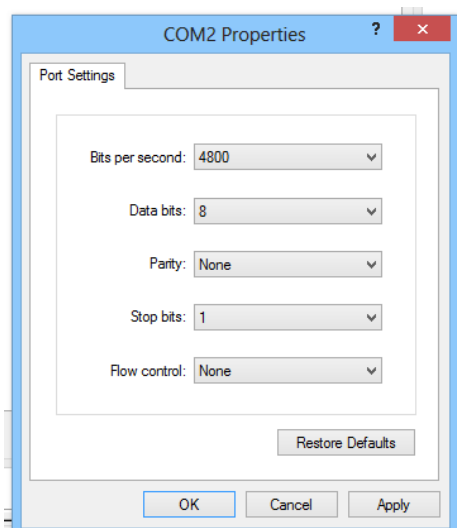
Tahapan selanjutnya untuk konfigurasi *port serial*. Tampilan konfigurasi *port serial com*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Tampilan konfigurasi port serial com

Ditunjukkan pada Gambar 2, bahwa pada kolom *Country/region* dipilih Indonesia (62), kemudian pada kolom *Area code* diketik 021, setelah itu pilih COM2 pada kolom *Connect using*, diakhiri dengan penge-klik-an OK.

Tampilan pembuatan konfigurasi *handshaking* antara TNC dan komputer, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Tampilan pembuatan konfigurasi *handshaking* antara TNC dan komputer

Ditunjukkan pada Gambar 3, bahwa pada kolom *Bit per second* diketik 4800 untuk menentukan mode komunikasi antara komputer dan TNC, kemudian dipilih nilai 8 pada kolom *Data bits*, selanjutnya pada kolom *parity* dipilih *none*, pada kolom *stop bits* pilih nilai 1, kemudian dipilih *none* pada *Flow control*, diakhir dengan penge-klik-an OK.

Konfigurasi program aplikasi jaringan APRS di perangkat lunak UI-View32[4,7,6], yaitu:

- ❖ konfigurasi jenis TNC yang digunakan,
- ❖ konfigurasi jenis *transceiver*,
- ❖ konfigurasi nama stasiun APRS,
- ❖ konfigurasi laju data dari TNC ke komputer,
- ❖ konfigurasi kecepatan *Link* data TNC ke radio, dan
- ❖ konfigurasi stasiun penerima data sebagai stasiun *Digipeater*.

Penyetelan terhadap fungsi *digipeater* dengan tujuan, agar data yang diterima oleh stasiun penerimaan data APRS dapat melakukan pancar ulang data yang diterima dari stasiun pengiriman data APRS.

## 2) Pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja *sensor-sensor*

Pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja *sensor-sensor* dilakukan melalui proses *recording* pada stasiun penerimaan data APRS. Pengukuran penerimaan data meliputi penerimaan dari: (i) sensor deteksi keberadaan hujan, (ii) sensor deteksi intensitas keberadaan hujan, (iii) sensor tinggi permukaan air, dan (iv) dua sensor deteksi nilai tegangan catu daya. Kinerja *sensor-sensor* akan diamati pada stasiun pemantauan dan data hasil pemantauan dan pengukuran akan dapat diterima pada stasiun penerimaan secara *real time*. Stasiun pengiriman data APRS memiliki format data pengiriman, yaitu:

**Callsign > BEACON, T#nnn,111,222,333,444,555**

Format data pengiriman mengandung arti, bahwa:

- **Callsign** (nama stasiun pengirim data APRS berdasarkan aturan Organisasi Amatir Radio);
- **nnn** (angka urutan dalam desimal yang memiliki siklus dari 000 sampai 999, untuk kondisi dimana nilai desimal telah mencapai 999, maka akan kembali ke nilai 000 untuk *frame* data telemetri selanjutnya); dan
- **111,222** (nilai masukan analog pada kanal 1 dan 2 TNC yang tersedia secara *default*), dan **333, 444, 555** (nilai masukan analog yang akan dilakukan modifikasi pada modulator APRS (TNC) melalui *patch* internal).

## III. HASIL DAN BAHASAN

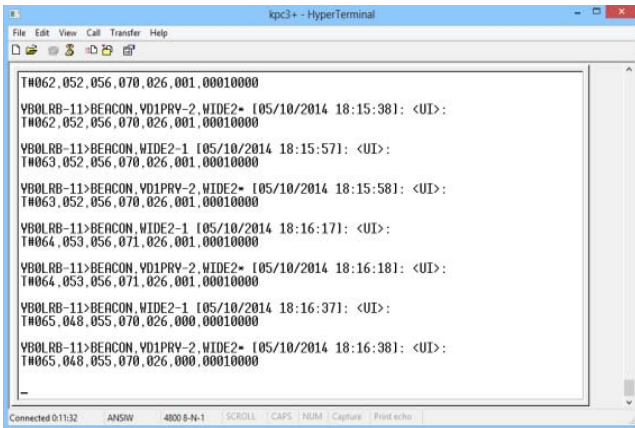
### A. Program Aplikasi pada Jaringan APRS

Penyetelan program aplikasi pada jaringan APRS dapat dilakukan dengan program aplikasi *hyperterminal*, yaitu sebuah program aplikasi penerimaan paket data pada APRS. Perangkat stasiun penerimaan *digipeater* pada jaringan APRS, seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4 Perangkat stasiun penerimaan *digipeater* pada jaringan APRS

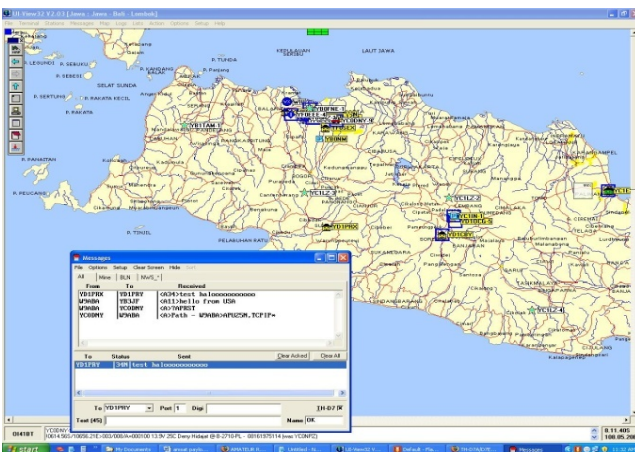
Tampilan keberhasilan suatu *handshaking* pada program aplikasi untuk APRS berbasis *hyperterminal*, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Tampilan keberhasilan suatu handshaking pada program aplikasi untuk APRS berbasis hyperterminal

Berdasarkan Gambar 5 ditunjukkan, bahwa program aplikasi APRS berbasis perangkat lunak *hyperterminal* yang telah berhasil melakukan proses *handshaking* antara TNC dan komputer, sehingga data telemetri dari stasiun pengirim paket data dapat diterima di stasiun penerima.

Pilihan terhadap program aplikasi untuk jaringan APRS selain *hyperterminal*, yaitu perangkat lunak *UI-View 32*. Tampilan keberhasilan suatu *handshaking* pada program aplikasi untuk jaringan APRS berbasis *UI-View 32*, seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



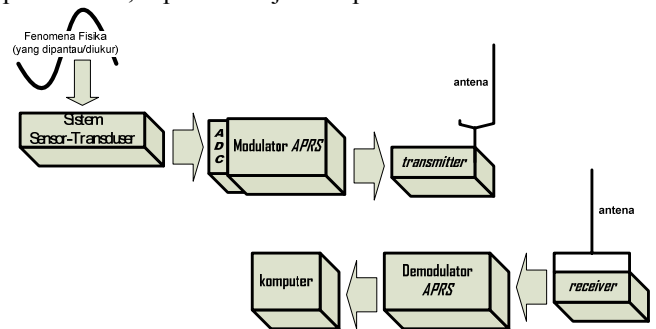
Gambar 6 Tampilan keberhasilan suatu handshaking pada program aplikasi untuk jaringan APRS berbasis UI-View 32

Berdasarkan Gambar 6 ditunjukkan, bahwa pemantauan data APRS dapat dilakukan dengan tampilan *visual* berbasis *UI-View 32*. Kelebihan *UI-View 32*, yaitu dapat mengetahui langsung posisi stasiun APRS yang diamati dan stasiun APRS lain ke bentuk media *visual* yang ditampilkan dalam bentuk *mapping* posisi. Perangkat lunak (*software*) *UI-View 32* lebih memberikan kemudahan dalam melakukan proses pengamatan dan *recording* data telemetri secara bersamaan. Kelebihan lainnya, pada *software UI-View32* disediakan menu bagi pengguna APRS untuk melakukan pengiriman pesan berbentuk *text* kepada pengguna APRS lain.

**B. Pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja sensor-sensor**

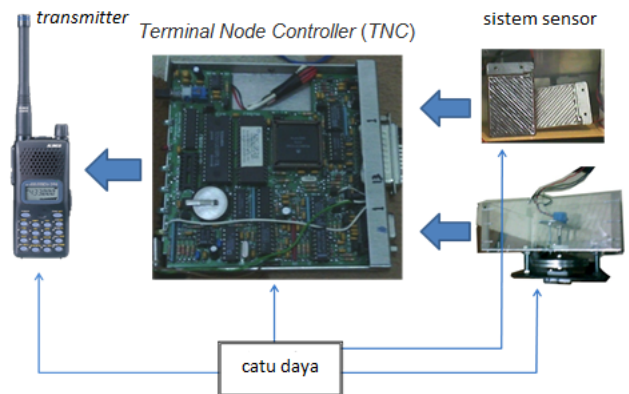
Pengukuran penerimaan data didasarkan kepada kinerja sensor-sensor yang dapat diperoleh melalui *data recording* pada stasiun pemantauan atau penerimaan APRS. Diagram

blok implementasi APRS dengan stasiun pengirim dan penerimaan, seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Diagram blok implementasi APRS dengan stasiun pengirim dan penerimaan

Sistem pengiriman paket data berbantuan jaringan APRS berupa beberapa subsistem utama, yaitu: subsistem sensor, TNC, transmitter, dan catu daya untuk peranti-peranti elektronika tersebut yang ditempatkan secara terintegrasi dan dinamakan sebagai stasiun pemantauan-pengukuran dan pengiriman paket data. Diagram blok stasiun pemantauan-pengukuran dan pengiriman paket data berbantuan jaringan APRS, seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Diagram blok stasiun pemantauan-pengukuran dan pengiriman paket data berbantuan jaringan APRS

Sistem penerimaan paket data yang telah disusun terdiri atas: TNC, transceiver, antenna, catu daya, dan *personal computer*. Sistem penerimaan paket data dinamakan sebagai stasiun penerimaan paket data berbasis APRS, seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 Penampang fisis stasiun penerimaan paket data berbasis APRS

Stasiun penerimaan paket data berbasis *APRS* memiliki fungsi penerimaan data dan melakukan proses perekaman (*recording*) data hasil pemantauan dan pengukuran. Hasil pengukuran yang diperoleh berasal data sensor deteksi keberadaan hujan, sensor deteksi keberadaan intensitas hujan, sensor tinggi permukaan air, dan dua sensor pendeteksi nilai tegangan catu daya. Data pengamatan hasil pengukuran sensor atau data telemetri dapat diamati pada stasiun penerimaan dan dapat diperoleh secara *real time* dengan format:

```
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014
04:03:49]: <UI>:
T#010,008,093,004,122,075
```

Notifikasi **YB0LRB-11** merupakan stasiun pengirim paket data telemetri, kemudian data tersebut akan diterima pada stasiun penerima **YD1PRY** dengan format:

```
YD1PRY-2>APLPN,ARISS [05/18/2014
04:03:07]: <UI>:
!06.30.37S/106.48.26E#
```

Notifikasi tersebut merupakan pengiriman informasi data posisi oleh stasiun **YD1PRY** untuk inialisasi pada jaringan *APRS*. Stasiun **YB0LRB-11** ketika mengirim paket data telemetri dengan format:

```
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014
04:00:49]: <UI>:
T#001,004,035,005,122,075
```

Keterangan format pada data telemetri dijelaskan seperti berikut:

001 : angka urutan desimal  
 004 : kanal 1 sensor keberadaan hujan 1 (belum terdapat hujan)  
 035 : kanal 2 sensor tinggi permukaan air (tinggi permukaan air = 35 cm)  
 005 : kanal 3 sensor keberadaan hujan 2 (belum terdapat hujan)  
 122 : kanal 4 sensor tegangan 1 (nilai tegangan 12,2 volt, catu daya untuk sensor tinggi permukaan air)  
 075 : kanal 5 sensor tegangan 2 (nilai tegangan 7,5 volt, catu daya untuk *TNC*).

Paket data dari stasiun **YB0LRB** yang dipancar ulang atau *digipeater* dengan format:

```
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*
[05/18/2014 04:00:50]: <UI>:
T#001,004,035,005,122,075
```

Data telemetri yang dipancarkan **YB0LRB-11** ke stasiun penerimaan paket data dan diterima, maka paket data telemetri tersebut dipancar ulang oleh **YD1PRY**.

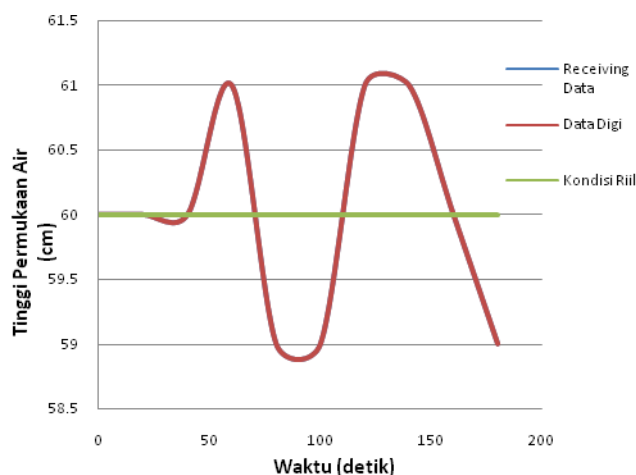
Cuplikan hasil pengiriman paket data sensor tinggi permukaan air dan deteksi keberadaan hujan, seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Cuplikan hasil pengiriman paket data sensor tinggi permukaan air dan deteksi keberadaan hujan

Waktu (detik)	Rcv. Data Tinggi Permukaan Air	Data Digi Tinggi Permukaan Air	Tinggi Permukaan Air Riil (cm)	Persentase Kesalahan Ukur	Rcv. Data Deteksi Hujan	Data Digi Deteksi Hujan	Deteksi Hujan
20	60	60	60	0,0	4	4	TH
40	60	60	60	0,0	4	4	TH
60	60	60	60	0,0	4	4	TH
80	61	61	60	1,7	4	4	TH
100	59	59	60	1,7	4	4	TH
120	59	59	60	1,7	4	4	TH
140	61	61	60	1,7	4	4	TH
160	61	61	60	1,7	4	4	TH
180	60	60	60	0,0	4	4	TH
200	59	59	60	1,7	4	4	TH

Keterangan:  
 Rcv. = Receiving  
 TH = Tidak Hujan

Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan, bahwa data hasil pengukuran yang dikirim oleh stasiun pengirim **YB0LRB** dan telah dapat diterima oleh stasiun *APRS* penerima **YD1PRY** yang dipancar ulang atau dilakukan proses *digipeater*. Data hasil pengukuran secara lebih rinci, seperti ditunjukkan pada LAMPIRAN. Hasil pengukuran tinggi permukaan air dapat diubah dalam bentuk grafik atau kurva. Kurva hasil pengukuran prototipe sensor tinggi permukaan air, seperti ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Kurva hasil pengukuran sensor tinggi permukaan air

Berdasarkan Gambar 10 ditunjukkan, bahwa sensor pengukuran berkinerja relatif stabil, walaupun terdapat nilai simpangan pengukuran sebesar 1 cm atau mempunyai persentase kesalahan sebesar 1,7%. Data telemetri yang diterima tersebut relatif baik, walaupun mengalami halangan, hal ini karena penggunaan frekuensi pada pita *VHF* (144 MHz.), dimana propagasi gelombang elektromagnetik tidak terlalu sensitif terhadap persyaratan *Line of Sight (LoS)* dan serapan buminya. Hasil pengukuran kinerja sensor ditandai dengan berfungsinya sistem sensor dan data hasil pengamatan dan pengukuran diterima di stasiun penerimaan secara *real time*.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan bahasan, maka dapat ditarik kesimpulan sesuai tujuan penelitian yang meliputi: 1) penyetulan pada program aplikasi untuk jaringan *APRS* dan 2) pengukuran penerimaan data berdasarkan kinerja sensor-sensor.

1) Penyetulan program aplikasi pada *APRS* dapat dilakukan dengan program aplikasi *hyperterminal* atau *UI-View 32*, yaitu: (i) sebuah program aplikasi penerimaan paket

data pada APRS yang dilakukan di stasiun penerimaan, (ii) kedua program aplikasi berhasil melakukan proses *handshaking* antara TNC dan komputer, sehingga data telemetri dari stasiun pengiriman dapat diterima di stasiun penerimaan paket, dan (iii) tampilan keberhasilan melakukan proses *handshaking* berbantuan program aplikasi *Hyperterminal* berupa teks, sedangkan jika berbantuan program aplikasi *UI-View 32* berupa visual.

- 2) Pengukuran penerimaan data didasarkan kepada kinerja sensor-sensor yang diperoleh, yaitu: (i) melalui data *recording* pada stasiun pemantauan atau penerimaan APRS, berupa data sensor pendeteksi keberadaan hujan, sensor pendeteksi intensitas keberadaan hujan, sensor tinggi permukaan air, dan dua sensor pendeteksi nilai tegangan catu daya, (ii) data telemetri yang dipancarkan **YB0LRB-11** ke stasiun penerimaan paket data dan diterima, maka paket data telemetri tersebut dipancar ulang oleh **YD1PRY**, (iii) cuplikan data hasil pengukuran yang dikirim oleh stasiun YB0LRB dan telah dapat diterima oleh stasiun APRS penerima YD1PRY, data (iv) data diterima oleh YD1PRY kemudian dipancar ulang atau dilakukan proses *digipeater*, dimana prototipe sensor tinggi permukaan air berkinerja relatif stabil, walaupun terdapat nilai simpangan pengukuran sebesar 1 cm atau mempunyai persentase kesalahan sebesar 1,7%.

#### REFERENSI

- [1] Adiputro, Azhari Surya, "APRS (Automatic Position Reporting System)", \_\_\_, \_\_\_, 2008  
<http://azharisurya.wordpress.com/2008/04/> (diunduh 14 Mei 2014)
- [2] Nurrohmah, Elida, "APRS (Automatic Packet Reporting System) Untuk Penanggulangan Bencana", \_\_\_, \_\_\_, 2013  
<http://openstreetmap.or.id/aprs-automatic-packet-reporting-system-untuk-penanggulangan-bencana/> (diunduh 14 Mei 2014).
- [3] Wafa, Kahirul, "APRS, Automatic Packet/Position Reporting System", \_\_\_, \_\_\_, <http://khairulwafa.wordpress.com/2008/04/16/aprs-automatic-packetposition-reporting-system/> (diunduh 14 Mei 2014)
- [4] Adisoemarta, Suryono, "APRS dan Aplikasinya", Prosiding SIPTTEKGAN XII 2008, Detekgan-LAPAN, Bogor, 2008.
- [5] Sunny, Ananti Selaras, "Automatic Packet Reporting System (APRS)", \_\_\_, \_\_\_, 2008 <http://ananti.wordpress.com/2008/04/15/automatic-packet-reporting-system-APRS> (diunduh 14 Mei 2014).
- [6] Anonim, "Instruction Manual Transceiver Icom IC-2410H", \_\_\_, \_\_\_, 1998.
- [7] Suwarjo, Minto, "Modifikasi Modem Kantronics KPC-3 untuk Aplikasi pada Sistem APRS", Buku Ilmiah: Satelit Mikro Untuk Mitigasi Bencana dan Ketahanan Pangan, IPB Press, Bogor, 2010.
- [8] Yatim, Rakhmad, "Setup TNC KPC-3+ sebagai Station APRS", KKIT-LAPAN, Jakarta, 2009.

#### LAMPIRAN

##### Hasil penerimaan paket data APRS dan *Digipeater* APRS

```
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:00:49]:
<UI>:
T#001,004,235,005,122,075,00010010
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:00:50]: <UI>:
T#001,004,235,005,122,075,00010010
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:01:09]:
<UI>:
T#002,004,239,005,122,075,00010010
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:01:10]: <UI>:
T#002,004,239,005,122,075,00010010
```

```
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:01:29]:
<UI>:
T#003,001,101,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:01:30]: <UI>:
T#003,001,101,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:01:49]:
<UI>:
T#004,001,091,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:01:50]: <UI>:
T#004,001,091,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:02:09]:
<UI>:
T#005,005,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:02:10]: <UI>:
T#005,005,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:02:29]:
<UI>:
T#006,006,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:02:31]: <UI>:
T#006,006,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:02:49]:
<UI>:
T#007,001,092,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:02:50]: <UI>:
T#007,001,092,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>APLPN,WIDE2-1 [05/18/2014 04:03:00]:
<UI>:
!06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS
YB0LRB-11>APLPN,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:03:01]: <UI>:
!06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS
YD1PRY-2>APLPN,ARISS [05/18/2014 04:03:07]: <UI>:
!06.30.37S/106.48.26E#
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:03:09]:
<UI>:
T#008,006,092,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:03:10]: <UI>:
T#008,006,092,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:03:29]:
<UI>:
T#009,000,091,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:03:30]: <UI>:
T#009,000,091,004,122,075,00010000
YD1PRY-2>ID,WIDE2-2 [05/18/2014 04:03:41]: <UI>:
YD1PRY-2/R WIDE1-1/D YCOZXI-1/B
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:03:49]:
<UI>:
T#010,008,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:03:50]: <UI>:
T#010,008,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:04:09]:
<UI>:
T#011,005,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:04:10]: <UI>:
T#011,005,093,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:04:29]:
<UI>:
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:04:29]:
<UI>:
T#012,000,091,004,122,075,00010000
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2*[05/18/2014
04:04:31]: <UI>:
```

T#012,000,091,004,122,075,00010000 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:04:49]: YB0LRB-11>APLPN,YD1PRY-2,WIDE2\* [05/18/2014  
 <UI>: 04:08:03]: <UI>:  
 T#013,004,092,004,122,075,00010000 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:08:09]:  
 04:04:50]: <UI>: <UI>:  
 T#013,004,092,004,122,075,00010000 T#023,000,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:05:09]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:08:10]: <UI>:  
 T#014,007,092,004,122,075,00010000 T#023,000,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:08:29]:  
 04:05:10]: <UI>: <UI>:  
 T#014,007,092,004,122,075,00010000 T#024,001,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:05:29]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:08:31]: <UI>:  
 T#015,002,092,004,122,075,00010000 T#024,001,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:08:49]:  
 04:05:30]: <UI>: <UI>:  
 T#015,002,092,004,122,075,00010000 T#025,008,211,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>APLPN,WIDE2-1 [05/18/2014 04:05:31]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:08:50]: <UI>:  
 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS T#025,008,211,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>APLPN,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:09:09]:  
 04:05:32]: <UI>: <UI>:  
 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS T#026,000,209,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:05:49]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\* [05/18/2014  
 <UI>: 04:09:10]: <UI>:  
 T#016,005,091,004,122,075,00010000 T#026,000,209,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:09:29]:  
 04:05:50]: <UI>: <UI>:  
 T#016,005,091,004,122,075,00010000 T#027,004,212,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:06:09]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:09:30]: <UI>:  
 T#017,007,092,004,122,075,00010000 T#027,004,212,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:09:49]:  
 04:06:10]: <UI>: <UI>:  
 T#017,007,092,004,122,075,00010000 T#028,000,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:06:29]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:09:50]: <UI>:  
 T#018,004,092,004,122,075,00010000 T#028,000,208,005,122,075,00010010  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:10:09]:  
 04:06:31]: <UI>: <UI>:  
 T#018,004,092,004,122,075,00010000 T#029,000,060,004,122,075,00010000  
 YD1PRY-2>APLPN,ARISS [05/18/2014 04:06:46]: <UI>: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 !06.30.37S/106.48.26E# 04:10:10]: <UI>:  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:06:49]: T#029,000,060,004,122,075,00010000  
 <UI>: YD1PRY-2>APLPN,ARISS [05/18/2014 04:10:25]: <UI>:  
 T#019,040,092,004,122,075,00010000 !06.30.37S/106.48.26E#  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:10:29]:  
 04:06:50]: <UI>: <UI>:  
 T#019,040,092,004,122,075,00010000 T#030,000,060,004,122,075,00010000  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:07:09]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:10:31]: <UI>:  
 T#020,008,092,004,122,075,00010000 T#030,000,060,004,122,075,00010000  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>APLPN,WIDE2-1 [05/18/2014 04:10:33]:  
 04:07:10]: <UI>: <UI>:  
 T#020,008,092,004,122,075,00010000 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:07:29]: YB0LRB-11>APLPN,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:10:34]: <UI>:  
 T#021,009,169,005,122,075,00010010 !06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:10:49]:  
 04:07:30]: <UI>: <UI>:  
 T#021,009,169,005,122,075,00010010 T#031,004,060,004,122,075,00010000  
 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:07:49]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:10:50]: <UI>:  
 T#022,003,196,005,122,075,00010010 T#031,004,060,004,122,075,00010000  
 YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014 YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:11:09]:  
 04:07:50]: <UI>: <UI>:  
 T#022,003,196,005,122,075,00010010 T#032,006,061,004,122,075,00010000  
 YB0LRB-11>APLPN,WIDE2-1 [05/18/2014 04:08:02]: YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
 <UI>: 04:11:10]: <UI>:



T#032,006,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:11:29]:  
<UI>:  
T#033,002,059,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:11:30]: <UI>:  
T#033,002,059,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:11:49]:  
<UI>:  
T#034,002,059,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:11:50]: <UI>:  
T#034,002,059,004,122,075,00010000  
YD1PRY-2>APU25N,WIDE2-2 [05/18/2014 04:12:06]:  
<UI>:  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:12:09]:  
<UI>:  
T#035,007,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:12:10]: <UI>:  
T#035,007,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:12:29]:  
<UI>:  
T#036,004,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:12:31]: <UI>:  
T#036,004,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:12:49]:  
<UI>:  
T#037,004,060,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:12:50]: <UI>:  
T#037,004,060,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>APLPN,WIDE2-1 [05/18/2014 04:13:04]:  
<UI>:  
!06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
YB0LRB-11>APLPN,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:13:05]: <UI>:  
!06.30.37S/106.54.31E# Uji APRS  
  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:13:09]:  
<UI>:  
T#038,000,059,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:13:10]: <UI>:  
T#038,000,059,004,122,075,00010000  
YD1PRY-2>ID,WIDE2-2 [05/18/2014 04:13:19]: <UI>:  
YD1PRY-2/R WIDE1-1/D YC0ZXI-1/B  
YB0LRB-11>BEACON,WIDE2-1 [05/18/2014 04:13:29]:  
<UI>:  
T#039,007,061,004,122,075,00010000  
YB0LRB-11>BEACON,YD1PRY-2,WIDE2\*[05/18/2014  
04:13:30]: <UI>:  
T#039,007,061,004,122,075,00010000

# Sistem Klasifikasi Jenis Kendaraan Melalui Teknik Olah Citra Digital

Bagus Pribadi

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Teknik  
Komputer, STMIK STIKOM Bali  
Jln Raya Puputan No 86 Renon, Denpasar, Bali  
ardiekom@yahoo.com

Muchammad Naseer

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Teknik  
Komputer, STMIK STIKOM Bali  
Jln Raya Puputan No 86 Renon, Denpasar, Bali  
naseer@stikom-bali.ac.id

**Abstrak--**Salah satu usaha pemerintah dalam mengurangi kemacetan adalah dengan menetapkan jalur-jalur khusus yang hanya boleh dilalui kendaraan bermotor roda dua, empat atau lebih, ada pula kebijakan waktu-waktu khusus yang harus ditaati oleh pengendara truk besar, truk gandeng, bus besar dan lainnya. Namun yang terjadi di lapangan, banyak terjadi pelanggaran yang berawal dari ketidaktahuan pengendara mengenai aturan dan alasan lainnya. Sebagai contoh di tol yang baru dioperasikan di pulau Bali, banyak pengendara motor yang sangat sering melakukan pelanggaran jalur masuk ke tol tersebut, untuk itu dibutuhkan sebuah sistem klasifikasi kendaraan bermotor yang nantinya dapat digunakan untuk memperingati pengendara yang berkendara tidak pada tempatnya. Penelitian ini membahas mengenai perancangan dan pembangunan sistem untuk klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan ukurannya. Teknik pengolahan citra digital didukung dengan Java serta menggunakan framework CV (Computer Vision) untuk mengolah data citra digital. Data yang digunakan adalah data video yang diambil melalui rekaman kamera, dapat melalui kamera CCTV maupun kamera digital biasa. Data citra bergerak atau video tersebut diolah melalui sistem yang akan dibangun ini, dimana proses awal adalah proses pengambilan per frame dari video, sehingga didapatkan sebuah gambar berurutan. Setelah proses tersebut dilakukan pendeteksian tepi yang pada akhirnya akan didapatkan ukuran kendaraan dan dapat diklasifikasikan jenis kendaraan tersebut.

**Kata Kunci :** Sistem cerdas, Klasifikasi kendaraan, Thresholding

## I. PENDAHULUAN

Belakangan, pemerintah cukup disusahkan dengan jenis-jenis kendaraan yang berjalan tidak pada jalurnya, sebagai contoh kendaraan roda dua yang telah disiapkan jalur khusus, sering kali ditemukan mengambil jalur untuk kendaraan roda empat atau kendaraan umum. Contoh lain adalah tol yang baru saja dibangun dan dioperasikan di pulau Bali, sering kali pengendara kendaraan roda dua memasuki jalur kendaraan roda empat, yang tentu saja mengganggu lalu lintas. Ada pula kebijakan waktu-waktu khusus yang harus ditaati oleh pengendara truk besar, truk gandeng, bus besar dan lainnya. Namun yang terjadi di lapangan, banyak terjadi pelanggaran yang berawal dari ketidaktahuan pengendara mengenai aturan dan alasan lainnya. Sebagai contoh di tol yang baru dioperasikan di pulau Bali, banyak pengendara motor yang sangat sering melakukan pelanggaran jalur masuk ke tol tersebut, Hal tersebut sebenarnya dapat diantisipasi dengan menyediakan petugas yang mengarahkan, namun penempatan petugas tentu saja kurang efektif karena bisa saja ketika petugas lengah, ada kendaraan yang menerobos masuk. Untuk itu dibutuhkan sebuah sistem klasifikasi kendaraan bermotor yang nantinya dapat

digunakan untuk memperingati pengendara yang berkendara tidak pada tempatnya.

Dengan perkembangan teknologi informasi, hal tersebut dapat ditangani dengan sistem yang terhubung dengan beberapa kamera di beberapa titik. Kamera berfungsi untuk merekam dan memantau aktifitas pengendara, dan dapat disediakan sebuah computer untuk menganalisa dan mengolah data video yang dihasilkan oleh kamera tersebut. Pengolahan video tersebut bermanfaat untuk mengetahui ukuran kendaraan yang melewati ruas jalan tertentu, sehingga dapat diketahui atau diklasifikasi jenis kendaraan yang lewat. Kamera yang digunakan dapat berupa kamera CCTV yang memiliki kualitas video yang cukup baik, serta sudut pengambilan gambar juga harus tepat, supaya mendapatkan gambar yang optimal. Sistem ini dikembangkan untuk pemantauan arus lalu lintas dengan cara melakukan klasifikasi kendaraan yang melewati ruas jalan tertentu secara realtime menggunakan teknik pengolahan citra.

## II. METODE PENELITIAN

Perancangan sistem dalam penelitian ini dibagi menjadi dua kegiatan yaitu pengambilan data dan pengolahan data. Pengambilan data adalah hal yang dilakukan pertama kali, setelah itu data yang sudah diambil diolah menggunakan aplikasi.

### A. Pengambilan data

Tahap pengambilan data, menggunakan kamera CCTV dengan resolusi 1600 x 1200 piksel, dan format video yang diambil dari CCTV yaitu .mp4. Untuk penempatan CCTV juga sangat berpengaruh, untuk hasil yang lebih baik, CCTV harus ditaruh di tengah, misalkan di jembatan penyebrangan. Tujuannya supaya objek yang diteliti, sepenuhnya terlihat.

### B. Pengolahan data

Tahap pengolahan merupakan tahap inti dari sistem yang akan dirancang. Tahap pengolahan dibagi menjadi beberapa proses

#### 1. Tahap deteksi area

Pada tahap ini, video yang sudah didapat tersebut dibuatkan area, area yang dibuatkan ada dua yaitu area pertama dan area ke dua. Tujuannya agar sistem hanya mengolah data yang ada didalam area tersebut, yang diluar area tidak akan dideteksi oleh sistem. Area ini juga digunakan untuk menentukan kecepatan kendaraan.

#### 2. Tahap segmentasi

Tahap ini yaitu melakukan pemisahan objek dengan latar belakang(background). Proses pada tahap segmentasi adalah membaca frame pertama dan menganggap sebagai background frame, konversi background frame ke grayscale

dan set nilai dari threshold. Proses tersebut dilakukan untuk frame pertama, dan untuk frame berikutnya yaitu frame ke dua dan seterusnya sampai frame terakhir yaitu pada tahap segmentasi, video yang sudah di konversi ke gambar (berupa frame), dibaca oleh sistem, kemudian konversi frame tersebut ke grayscale, setelah dikonversi, temukan perbedaan frame yang dibaca dengan frame sebelumnya. Setelah itu klasifikasi piksel apakah itu objek atau background, jika nilai objek lebih besar dari threshold maka piksel tersebut adalah objek dan simpan didalam objek vektor array baru, jika lebih kecil atau sama dengan nilai threshold maka nilai vector array adalah nol. Proses tersebut terus dilakukan sampai frame terakhir.

### 3. Tahap ekstraksi fitur

Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan tepi dan sudut dari object di setiap frame. Tahap ekstraksi fitur ini dengan membaca frame gambar, kemudian gambar tersebut harus sudah dirubah ke grayscale, setelah itu masuk ke tahap deteksi tepi canny, jika tahap deteksi canny selesai akan didapatkan garis tepi dari objek tersebut. Setelah deteksi tepi canny selesai, lakukan proses morfologi, yaitu dilasi dan erosi, fungsi dari proses morfologi ini supaya memudahkan dalam melakukan placakan objek, setelah proses morfologi selesai, dilakukan proses cropping lokasi objek bisa dilakukan. Cropping objek berbentuk kotak. Dari proses cropping ini akan dipakai untuk mengklasifikasi kendaraan.

### 4. Tahap deteksi objek

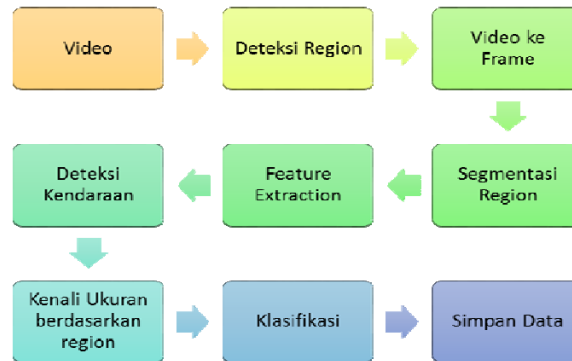
Deteksi objek dilakukan dengan mengekstraksi fitur setiap objek. Berdasarkan dimensi dari setiap objek ini memiliki fitur khusus. metode diterapkan dalam penelitian ini adalah optical flow, yang digunakan untuk mendeteksi dan menunjukkan objek di setiap frame. Dalam metode ini, piksel dihitung berdasarkan pada posisi vektor dan itu dibandingkan dalam frame berikutnya untuk posisi piksel tersebut. Secara umum gerakan adalah sesuai dengan vektor posisi piksel.

Perhitungan dengan optical flow didasarkan pada dua asumsi :

Kecerahan dari setiap titik objek konstan setiap waktu. Gerakan gambar di setiap frame berubah secara bertahap dari waktu ke waktu. Misalkan kita memiliki sebuah gambar yang bergerak secara real time,  $f(x, y, t)$  merujuk kepada tingkat keabu-abuan  $(x, y)$  di waktu  $t$ .

- Asumsi masing-masing piksel bergerak tetapi tidak merubah intensitas
- Piksel di lokasi  $(x, y)$  di frame1 adalah piksel pada  $(x + \Delta x, y + \Delta y)$  di frame2.
- Optical flow mengaitkan perpindahan vektor dengan setiap piksel.

Pelacakan objek mengacu pada proses menelusuri objek bergerak dalam setiap frame. Tugas pelacakan dilakukan oleh ekstraksi fitur objek dalam frame dan menemukan objek dalam urutan frame. Dengan menggunakan nilai-nilai lokasi objek di setiap frame dengan menggunakan metode optical flow, kita dapat menentukan posisi dari objek tersebut. Alur sistem secara umum tergambar pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Diagram umum aplikasi

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menerangkan mengenai pengujian sistem traffic counting dan classification system kendaraan dan akan dibandingkan dengan pengamatan sebenarnya, dimana akan diketahui tingkat keakuratan dari metode yang digunakan.

### A. Implementasi sistem

Hasil eksperimen dilakukan dengan menggunakan teknologi computer vision. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini :

1. NetBeans IDE 7.3
2. JDK 1.7
3. OpenCV 2.4.0
4. javaCV 0.1

Untuk mengetahui performa dari sistem ini, maka dibutuhkan pengujian dengan cara pengambilan data. Pengujian dilakukan dengan menggunakan data berupa video yang berisi kondisi jalan dengan resolusi 1600 x 1200 piksel dimana durasi video 1 menit 10 detik. Sedangkan mesin pengolah yang digunakan adalah sebuah komputer dengan spesifikasi :

1. Processor Intel Dual Core @ 2.00 GHz
2. Memory 3072 mb
3. VGA Card Mobile Intel(R) 4 Series Express Chipset Family sebesar 1325 mb

### B. Pengujian keakuratan pendeteksian kendaraan dan mengklasifikasi kendaraan

#### 1. Tahap segmentasi

Pada tahap ini akan dilakukan proses segmentasi yaitu memisahkan objek dan latar belakang dengan menggunakan perbedaan frame. Tahap awal dari proses segmentasi adalah menganggap frame pertama sebagai background frame, kemudian mencari nilai threshold, untuk mencari nilai threshold dilakukan dengan membuat citra histogram. setelah didapatkan nilai threshold lakukan pengecekan dengan frame berikutnya, proses tersebut dilakukan berulang kali sampai frame terakhir. Hasil dari proses segmentasi :



Gambar 1. Hasil dari proses segmentasi

Dari hasil segmentasi, akan terdapat daerah – daerah yang dianggap sebagai gangguan. Biasanya daerah gangguan tersebut berukuran kecil. Untuk menghilangkannya dilakukan proses smoothing menggunakan gaussian smoothing. Gaussian smoothing atau sering disebut gaussian blur tersebut akan memblurkan suatu daerah yang tidak diperlukan, caranya dengan melihat daerah disekitar dari daerah tersebut, daerah mana yang lebih dominan kemudian daerah gangguan tersebut akan diblurkan sehingga daerah tersebut menyerupai daerah disekitarnya. Hasil dari proses gaussian smoothing :



Gambar 2. Hasil dari proses segmentasi setelah smoothing

## 2. Tahap ekstraksi fitur

Dalam melakukan pendeteksian objek bergerak ekstraksi fitur memainkan peran yang sangat penting, dalam penelitian ini menerapkan algoritma canny . Citra hasil dari proses segmentasi akan diproses lebih lanjut untuk mendapatkan tepian dari objek tersebut. Fungsi mendapatkan tepian objek adalah untuk mengetahui luasannya sehingga memudahkan dalam proses klasifikasi. Langkah-langkah dari proses deteksi tepi canny adalah pertama kali dilakukan penghalusan (smoothing) citra untuk menghilangkan noise dengan melakukan Gaussian Filter. Setelah itu dilakukan pencarian gradient citra, untuk melihat daerah-daerah yang memiliki turunan spasial yang tinggi. Dari proses tersebut akan terlihat mana daerah yang memiliki perbedaan warna. Kemudian dilakukan Non-maximum Suppression, yaitu menghilangkan nilai-nilai yang tidak maksimum dan menghilangkan setiap piksel yang tidak maksimum. Setelah itu dilakukan proses hysteresis dengan menggunakan dua nilai threshold. Threshold Bila magnitude ada dibawah threshold pertama maka titik tersebut akan diset menjadi nol, jika magnitude berada diatas threshold kedua maka termasuk edge. Bila magnitude berada diantara maka diset menjadi 0 kecuali path dari titik tersebut ke titik yang memiliki magnitude diatas nilai threshold kedua. Hasil dari deteksi tepi canny dan segmentasi yang sudah dilakukan sebelumnya.



Gambar 3. Hasil dari proses deteksi tepi canny dan segmentasi

## 3. Tahap pelacakan

Untuk melakukan pelacakan objek kendaraan dilakukan dengan cropping objek berbentuk kotak. Proses sebelumnya yaitu tahap segmentasi dan ekstraksi fitur, garis tepian yang terdapat pada objek belum sempurna, sehingga masih terdapat celah-celah dari tepian objek tersebut, sehingga jika dilakukan proses klasifikasi, satu objek dibaca lebih dari satu. Oleh karena itu, pada tahap ini akan dilakukan proses lagi yang dinamakan proses morfologi. Proses morfologi akan menutupi celah-celah tepian objek sehingga didapatkan suatu seperti gumpalan yang akan memudahkan dalam melakukan pelacakan dan mengklasifikasi objek kendaraan. Hasil dari proses morfologi untuk pelacakan dan mengklasifikasi objek kendaraan.



pelacakan objek dan klasifikasi

## 4. Tahap deteksi objek dan klasifikasi kendaraan

Untuk melakukan klasifikasi kendaraan, yang perlu dilakukan adalah mengetahui setiap objek atau mendeteksi setiap objek, yang mana objek A, objek B, objek C dan seterusnya, karena setiap frame akan terlacak objek tersebut, tetapi dianggap berbeda, sehingga jumlah kendaraan akan bertambah terus padahal masih objek yang sama. sehingga diperlukan pendeteksian setiap objek tersebut.

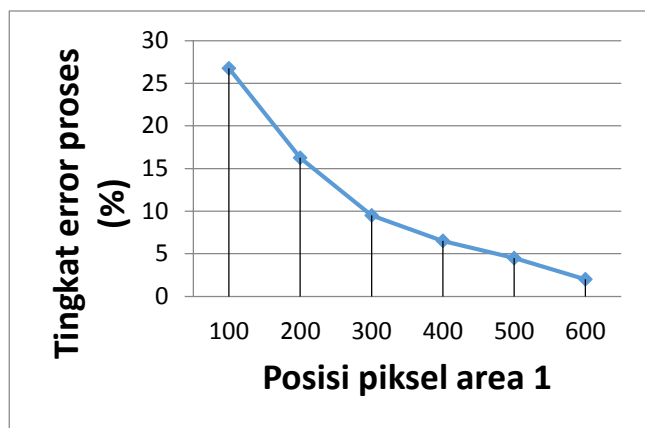
Dari hasil yang didapat dalam pengujian sistem tersebut akan dilihat tingkat error dari setiap frame, dimana dalam pengujian ini diambil sampel 400 frame, dan akan diteliti jumlah dan persentase error. Rumus untuk mendapatkan persentase error :

$$\frac{\text{jumlah frame error}}{\text{jumlah frame diuji}} \times 100\%$$

No.	Posisi area 1	Jumlah error perframe	Persentase error
1	100	107	26,75 %
2	200	65	16,25 %
3	300	38	9,5 %
4	400	26	6,5 %
5	500	18	4,5 %
6	600	8	2 %

persentase tingkat error untuk tahap counting

Tabel diatas menunjukkan pengurangan tingkat error terjadi ketika posisi piksel yang diambil semakin besar.



Grafik tingkat *error* proses klasifikasi

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 1. Kesimpulan

- Sistem mampu mendeteksi dan mengklasifikasi jenis kendaraan dengan tingkat akurasi yang berbeda untuk jarak tertentu.
- Ketika posisi piksel area pertama semakin dekat dengan area kedua yaitu dengan menambahkan posisi piksel pertama, hasil yang didapatkan semakin baik, karena terlihat ada celah antara kendaraan satu dengan lainnya.
- Posisi CCTV sangat mempengaruhi hasil dari penelitian ini, dimana posisi CCTV lebih bagus ditaruh di tengah dan semakin tinggi semakin bagus, sampai batas terlihat kendaraan, karena jika semakin tinggi celah antara kendaraan akan terlihat dan objek yang dideteksi semakin kecil sehingga proses akan semakin cepat.

##### 2. Saran

Penelitian ini menggunakan sampel kendaraan pada siang hari, dan dapat diperpanjang dengan menggunakan Artificial Intelligent dan Fuzzy logic. Teknik ini dapat menangani inkonsistensi segmentasi objek dan pelacakan bahkan ketika kualitas video rendah. Disarankan pula untuk pengembangan pada kondisi macet dan pada malam hari, kemudian menghilangkan noise pada saat kondisi hujan atau mendung, dengan menambahkan bayesian (OFTBB).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lien Cheng-Chang and Tsai Ming-Hsiu, Real-Time Traffic Flow Analysis without Background Modeling, Journal of Information Technology and Applications Vol. 5, No. 1, pp. 1-14 2011
- [2] Revathi R. And Hemalatha M. , Certain Approach of Object Tracking using Optical Flow Techniques, International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 53– No.8, September 2012.
- [3] Catalano Giuseppe, Gallace Alessio, Kim Bomi and Pedro Sergio (March 23, 2009), Optical flow, URL : <http://www.cvmt.dk/education/teaching/f09/VGIS8/AIP/opticalFlow.pdf> , akses terakhir 25 Februari 2013
- [4] Raharjo Budi, Tuntunan Pemerograman Java untuk Handphone, Informatika Bandung, 2007
- [5] Huang Chung-Hsien, Video-based Traffic Analysis System Using a Hierarchical Feature Point Grouping

- Approach, First International Conference on Robot, Vision and Signal Processing, 2011
- [6] Zhou Jianwei and Lu Kefeng, Real-time Optical Flow-Based Motion Tracking, Course Instructor: Professor Deepa Kundur, <http://www.comm.utoronto.ca/~dkundur/course/real-time-digital-signal-processing/>, akses terakhir 25 Februari 2013
- [7] Gerstmayr Lorenz, An Improvement of the Lucas-Kanade Optical-Flow Algorithm for every Circumstance, Computer Engineering Group Faculty of Technology University of Bielefeld, 5 august 2008
- [8] Winarno Edy , Aplikasi Deteksi Tepi pada Realtime Video menggunakan Algoritma Canny Detection, Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK Volume 16, No.1, Januari 2011
- [9] Chen Zhiwen, Cao Jianzhong, Tang Yao, and Tang Linao, Tracking of Moving Object Based on Optical Flow Detection, International Conference on Computer Science and Network Technology, 2011
- [10] Kumar Y Senthil, Canny Edge Detection Implementation on TMS320C64x/64x+ Using VLIB, Texas Instruments Incorporated, November 2009
- [11] JunFang Song, Aning Bai, and Ru Xue, A Reliable Counting Vehicles Method In Traffic Flow Monitoring, International Congress on Image and Signal Processing, 2011
- [12] Center of Studies in Resource Engineering, India Institue oh Technology, GaussianBlur, <http://www.csre.iitb.ac.in/~avikb/GNR401/Gaussian%20Blur.pdf>

# Remote Terminal Unit (RTU) SCADA Pada Jaringan Tegangan Menengah 30 KV

Didik Aribowo<sup>1</sup>, M.Otong<sup>2</sup>, Radyanto<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Cilegon-Banten 42435

Email : aribowo82@yahoo.co.id, m\_otong@gmail.com, radyanto\_ckck@ymail.com

**Abstrak**— Perkembangan perindustrian di Indonesia yang semakin pesat dari waktu ke waktu menyebabkan kebutuhan akan energi listrik ikut meningkat. Peningkatan jumlah energi listrik yang dibutuhkan harus sejalan dengan pasokan energi yang dihasilkan oleh pusat pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga uap merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak terdapat di Indonesia. Proses pembangkitan energi listrik yang terjadi cukup panjang dari proses pembuatan sampai pada proses distribusi kepada konsumen. Oleh karena itu, dengan adanya teknologi yang semakin berkembang didalam proses yang panjang tersebut dibangun sebuah sistem yang dapat berfungsi untuk monitoring, kendali dan akuisisi data secara realtime. Misalnya dengan menggunakan sistem SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Penerapan sistem SCADA PT. Krakatau Daya Listrik pada sistem kelistrikan akan secara otomatis meningkatkan tingkat pemahaman para dispatcher, mengenai sistem kelistrikan. Sistem SCADA terdiri dari Master Station (MS), Remote Terminal Unit (RTU) dan Saluran Komunikasi antar Master Station dan RTU. Sistem SCADA pada jaringan listrik memerlukan Remote Terminal Unit (RTU) yang dipasang pada Pusat Pembangkit listrik dan GI. RTU merupakan unit pengawas langsung dan juga merupakan unit pelaksana operasi dari pusat kontrol (Master Station) sehingga dengan adanya RTU ini memungkinkan Master Station mengumpulkan data dan melaksanakan kontrol. Sistem SCADA pada PT. Krakatau Daya Listrik memiliki beberapa macam RTU. RTU disusun oleh: modul CPU & Memory, modul Digital Input, modul Digital Output, modul Analog Input, modul Analog Output, modul Watchdog, dan modul Power Supply.

**Kata kunci** : Pembangkit Listrik, Peralatan Tegangan Tinggi, Sistem Jaringan Listrik, SCADA, Modul RTU

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia saat ini semakin pesat. Perkembangan ini tidak dapat dipisahkan dari sumber daya manusia dan sumber daya alam yang ada di Indonesia. Sumber daya manusia yang semakin maju membuat teknologi yang ada pun semakin berkembang. Perkembangan teknologi ini pun menyebabkan kebutuhan manusia akan energi listrik pun meningkat. Peningkatan kebutuhan manusia akan energi listrik mendorong diciptakannya pembangkit energi listrik yang andal untuk memenuhi semua kebutuhan energi listrik.

Salah satu jenis pembangkit listrik yang ada di Indonesia saat ini adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Proses pembangkitan energi listrik yang terjadi pada pembangkit listrik tenaga uap cukup panjang dari proses pembuatan sampai pada proses distribusi kepada konsumen. Oleh karena itu, dengan adanya teknologi yang semakin berkembang didalam proses yang panjang tersebut dibangun sebuah sistem yang berfungsi sebagai *monitoring* perangkat,

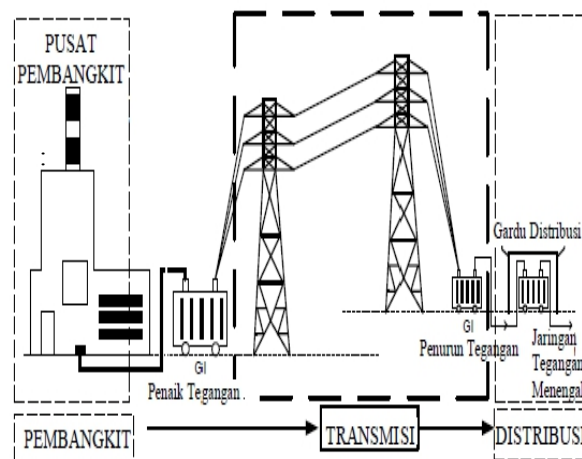
*database* data secara *realtime* dan kendali pada alat-alat tersebut. Salah satu dari teknologi tersebut adalah SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Sistem ini merupakan salah satu sistem yang digunakan pada PLTU 400 MW PT. Krakatau Daya Listrik.

Berdasarkan fungsinya, sistem ini merupakan bagian yang sangat penting ketika sebuah PLTU melakukan operasi kerja. Hal yang harus diperhatikan dalam penerapan sebuah sistem ini antara lain sistem minimum pada perangkat yang digunakan, instalasi pada sistem, komunikasi data antar perangkat. Komunikasi antar perangkat dalam sebuah sistem merupakan suatu hal penting ketika sistem bekerja. Hal ini diutamakan agar data yang dibutuhkan tidak mengalami keterlambatan informasi dan eksekusi ketika terjadi suatu permasalahan.

## II. TINJAUAN TEORI

### 2.1 Sistem Jaringan Distribusi

Ada tiga bagian penting dalam proses penyaluran tenaga listrik, yaitu: Pembangkitan, Penyaluran (transmisi) dan distribusi seperti pada gambar berikut



Gambar 1 Komponen Utama Penyaluran Tenaga Listrik<sup>[9]</sup>  
(Sumber : Kelompok Bidang SCADA Standarisasi Direksi PT. PLN (Persero), 2006)

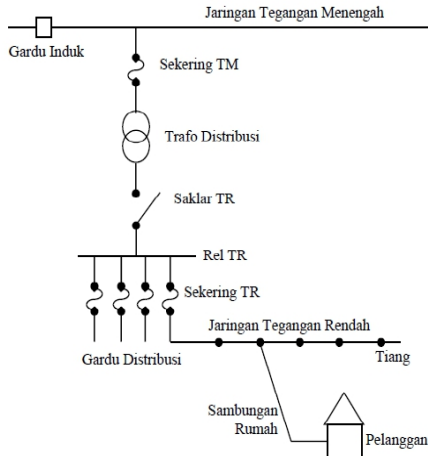
Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20kV sering disebut Sistem Distribusi Tegangan Menengah dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut Jaringan Tegangan Rendah 380/220V. (Sumber : Kelompok Bidang SCADA Standarisasi Direksi PT. PLN (Persero), 2006)

A. Jaringan pada Sistem Distribusi Primer

Jaringan pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu :

1. Jaringan Radial

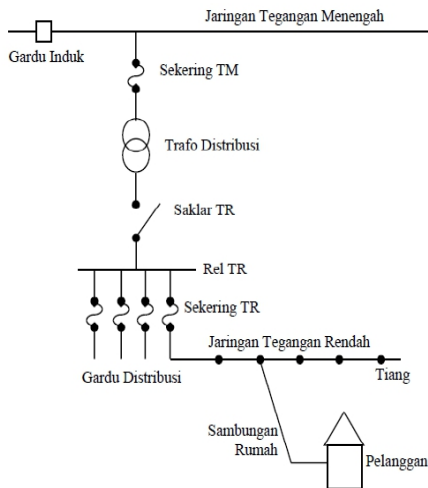
Sistem distribusi dengan pola Radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 2. Konfigurasi Jaringan Radial [9] (Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

2. Jaringan Hantaran Penghubung (Tie Line)

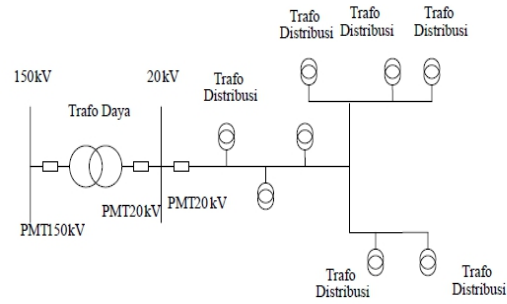
Sistem distribusi Tie Line digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit).



Gambar 3. Konfigurasi Jaringan Hantaran Penghubung [9] (Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

3. Jaringan Lingkaran (Loop)

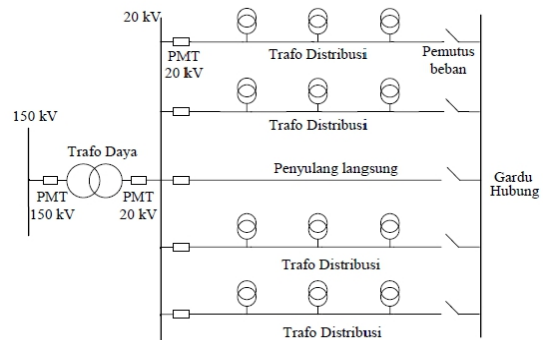
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop). Dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 4. Konfigurasi Jaringan Lingkaran (Loop) [9] (Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

4. Jaringan Spindel

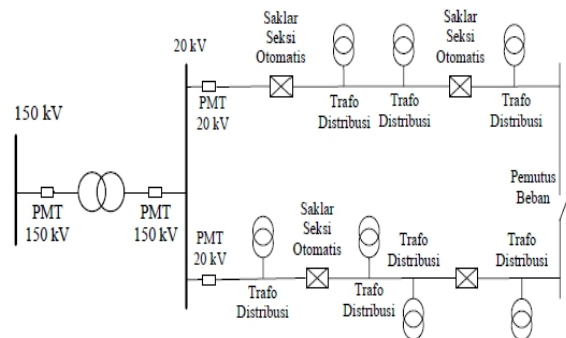
Sistem Spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan Lingkaran. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 5. Konfigurasi Jaringan Spindel [9] (Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

5. Jaringan Sistem Gugus atau Sistem Kluster

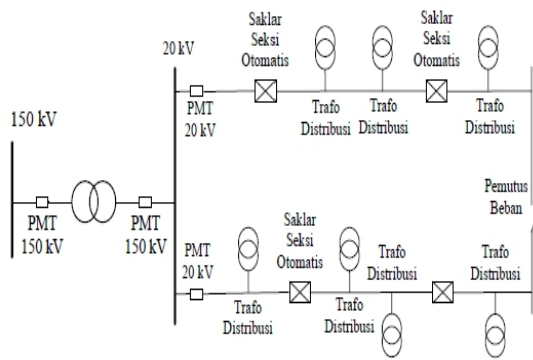
Konfigurasi Gugus banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan Penyulang Cadangan.



Gambar 6. Konfigurasi Sistem Kluster [9] (Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

B. Jaringan pada Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.

Gambar 7. Hubungan tegangan menengah ke rendah<sup>[9]</sup>

(Sumber : Bahan Ajar Modul Panel Busbar, 2003)

## 2.2 Sistem Rel (Busbar)

Hasil produksi listrik yang dihasilkan dari turbin yang dikopel dengan generator sebelum disalurkan melewati saluran transmisi, energi listrik yang dihasilkan akan melalui rel pusat listrik atau yang disebut dengan busbar. Semua peralatan gardu induk dihubungkan dan mengelilingi busbar corak dasar dari hubungan rangkaian dalam gardu induk ditentukan oleh sistem busbar. Dalam sistem busbar terdapat jenis konfigurasi busbar seperti: busbar tunggal (*single bus*), busbar ganda (*multiple bus*) dan ring gelang (*ring bus*). Kadang-kadang busbar mungkin dapat dihilangkan sesuai dengan komposisi sistem tenaga listrik.

## 2.3 Sistem Pengontrolan Jaringan

SCADA merupakan sebuah sistem yang terdiri dari subsistem computer untuk melakukan pengawasan (*Supervisory*) dan pengendalian (*Control*) terhadap subsistem proses dengan melakukan pengumpulan data (*Data Acquisition*) melalui infrastruktur komunikasi data. Sistem SCADA memonitor dan mengontrol semua proses tersebut dengan mengumpulkan data melalui sensor pada fasilitas atau stasiun jarak jauh dan kemudian mengirimnya ke sistem komputer sentral yang akan mengatur operasi proses dengan menggunakan informasi yang telah dikumpulkan.

Ada beberapa manfaat diterapkannya system SCADA dalam suatu proses, antara lain :

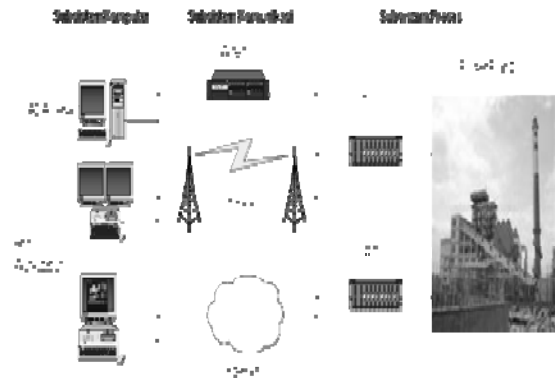
1. Mengakses nilai pengukuran dari proses-proses penting baik yang sedang berjalan ataupun yang telah lewat.
2. Mendeteksi dan memperbaiki masalah secepat mungkin (lebih cepat dalam melakukan analisa gangguan).
3. Melihat tren yang telah lalu.
4. Menemukan dan membatasi proses yang tersendat dan in-efisiensi (sebagai system pendukung dalam system pengambilan keputusan).
5. Mengurangi jumlah operator.

## III. Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA)

### 3.1 Komponen Utama Sistem SCADA

Sistem SCADA terdiri dari 3 subsistem, yaitu:

1. Subsistem Komputer
2. Subsistem Komunikasi
3. Subsistem Proses

Gambar 8. Bagian – bagian Sistem SCADA<sup>[1]</sup>

### A. Sistem SCADA Transmisi dan Distribusi

Fungsi sistem SCADA transmisi dan distribusi adalah untuk memonitoring parameter-parameter (arus, tegangan, daya, frekuensi, dll) yang ada pada jaringan listrik serta mengendalikan (*remote on/off*) circuit breaker dan trenner yang ada pada jaringan. Sampai dengan saat ini sistem SCADA sudah diaplikasikan pada<sup>[1]</sup>:

1. Feeder AH
2. Feeder AJ
3. Feeder AF
4. Feeder AL/AP
5. Feeder AM
6. Feeder AN

Feeder AE/AK

### B. Bagian Utama Sistem SCADA

Berikut ini komponen-komponen SCADA transmisi dan distribusi<sup>[1]</sup>:

1. Antarmuka manusia mesin (*Human Machine Interface*)  
HMI yang dipakai pada sistem SCADA PT.KDL adalah aplikasi SEEFOX yang berjalan pada sistem operasi LINUX Centos. Aplikasi ini hanya ditanam pada server. Adapun untuk menampilkan pada sisi client digunakan aplikasi telnet.
2. Unit terminal jarak jauh (RTU)  
RTU yang dipakai memakai PLC Modicon Quantum sebagai CPU, PTQ sebagai protokol komunikasi dengan server, digital I/O untuk menerima input/memberikan perintah ke *field*, NOE sebagai I/O *scanning* dan EGX/ETG sebagai *converter serial* RS232 ke TCP.
3. Infrastruktur dan protokol komunikasi  
Jaringan komunikasi *fiber optic* menjadi pilihan untuk komunikasi jarak jauh sedangkan komunikasi jarak dekat digunakan infrastruktur kabel (*wire*) baik kabel serial ataupun UTP. Adapun topologi jaringan yang dipakai adalah topologi bus pada level IED dan topologi *ring* pada level RTU serta client server. Protokol komunikasi *modbus* dipakai untuk komunikasi IED – RTU, IEC60870-5-104 digunakan untuk komunikasi RTU – server dan potokol TCP/IP digunakan untuk komunikasi *client* – server.
4. Supervisory Computer (Server)  
Ada 4 buah server yang dipakai, 1 *master server* , 1 *slave server* untuk mem-back up *master server* apabila terjadi kegagalan. *Master* dan *slave* server ini berfungsi untuk mengolah data dan menampilkan data tersebut dalam bentuk gambar. 1 archi server yang berfungsi untuk menyimpan history dan 1 simu server yang bias digunakan untuk simulasi.



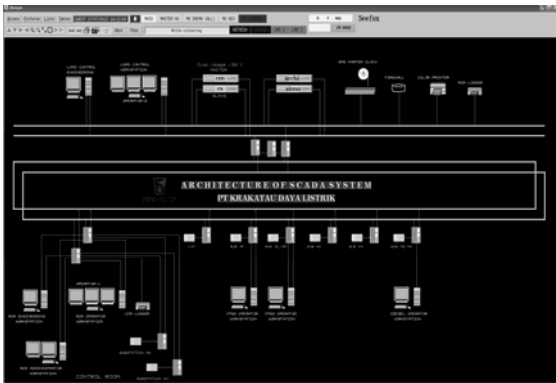
### 5. Sensor dan *Relay control*

Sensor yang dipakai adalah CT (*current transformer*) ataupun PT (*potential transformer*) sedangkan *transducer* dan *relay control* yang dipakai adalah Sepam (*overcurrent, overvoltage, differential*).

### C. Arsitektur Sistem SCADA

Berikut ini bagian – bagian arsitektur sistem SCADA PT. Krakatau Daya Listrik<sup>[1]</sup> :

1. Server (CM, CS, Archi dan simu)
2. Sistem GPS
3. Operator workstation
4. Engineering workstation
5. RTU
6. Printer logger
7. Firewall dan
8. Printer laser untuk membuat laporan.



Gambar 9. Arsitektur SCADA PT. KDL<sup>[1]</sup>

### 3.2 Intelligent Electronic Devices (IED) PT. Krakatau Daya Listrik

Intelligent Electronic Devices (IED) adalah peralatan elektronik berbasis mikroprosesor yang memiliki fungsi tertentu untuk melakukan telekontrol, telemetering, telesignal, proteksi, dan meter energi. PT. Krakatau Daya Listrik menggunakan Intelligent Electronic Devices (IED) berjenis sepam. Ada 3 jenis sepam yang digunakan oleh PT. Krakatau Daya Listrik yaitu<sup>[2]</sup> :

1. Sepam S20
2. Sepam S40
3. Sepam T87

### 3.3 Remote Terminal Unit (RTU)

Jaringan RTU adalah jaringan komunikasi yang digunakan antar RTU dengan Field Device (IED) yang tersebar di beberapa *Substation* yang berlokasi di PT Krakatau Steel.

*Remote Terminal Unit* (RTU) berfungsi untuk mengumpulkan data status dan pengukuran peralatan tenaga listrik, kemudian mengirimkan data dan pengukuran tersebut ke Master Station setelah diminta oleh Master. Disamping itu RTU berfungsi melaksanakan perintah dari master station (*remote control*). RTU terpasang pada setiap Gardu Induk (GI) atau pusat pembangkit yang masuk dalam sistem jaringan tenaga listrik. *Remote Terminal Unit* (RTU) terdiri dari :

1. *Central Processing Unit* (CPU)
2. *Memory*
3. Modul Input / Output (I / O)
4. Modul *Power supply*

5. *Telemetering* (TM) yang datang dari CT, VT melalui transducer disambung langsung ke modul Analog input.

6. *Telesinyal* (TS) yang datang dari peralatan GI (PMT, PMS, ES, Trafo dll) disambung langsung ke modul digital input.

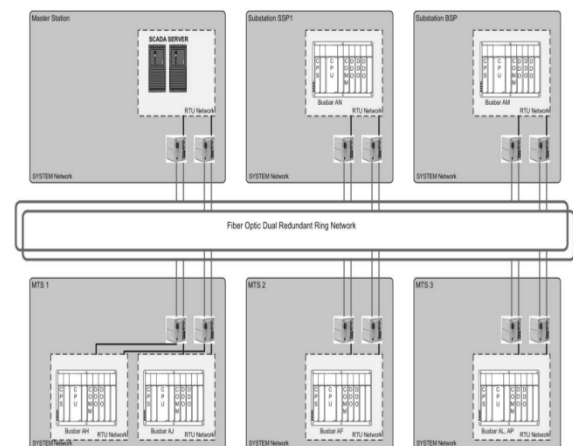
7. *Telecontrol* digital (TC) yang dikeluarkan dari modul analog output disambung ke peralatan pembangkit atau Gardu induk (PMT, PMS, ES dll) yang dilengkapi dengan motor penggerak untuk dikontrol dari pusat pengatur.

8. *Telecontrol* analog (TC) yang dikeluarkan dari modul analog output disambung ke Unit Pembangkit yang bisa diatur pembebanannya.



Gambar 10. Panel RTU<sup>[3]</sup>

Berikut ini diperlihatkan Bagan Jaringan RTU Sistem SCADA :



Gambar 11. Bagan Jaringan RTU<sup>[3]</sup>

### 3.4 Modul RTU



Gambar 12. Modul RTU<sup>[3]</sup>

Remote Terminal Unit tersusun dari beberapa modul, antara lain :

#### A. Modul Central Processing Unit (CPU)

Berfungsi untuk pengolahan data masukan. Modul CPU memiliki tugas pokok sebagai berikut :

- a. Menerima data berupa perintah dan sebagainya dari Master Station.
- b. Mengirim data pengukuran, isyarat indikasi dari GI dan Pusat Pembangkit ke Master Station.
- c. Membaca data dari GI dan Pusat Pembangkit yang berupa besaran listrik, status, indikasi.
- d. Menyampaikan data/perintah dari Master Station untuk dilaksanakan oleh peralatan pada GI dan Pusat Pembangkit Listrik.

#### B. Modul Digital Input

Modul ini adalah yang menerima sinyal input digital yang menunjukkan status PMT, PMS, alarm-alarm dari suatu Gardu Induk dan Pusat Pembangkit listrik.

#### C. Modul Digital Output

Modul ini berfungsi sebagai keluaran dari fungsi telekomando. Jika ada instruksi dari Master Station untuk membuka atau menutup PMT, PMS maka relay (isyarat telekomando).

#### D. Modul Analog Input

Modul ini berfungsi menerima besaran-besaran analog yang berasal dari *transducer* yang membangkitkan "volt" atau "milliampere" yang menunjukkan besaran listrik MW, MVAR, Volt, Ampere.

#### E. Modul Analog Output

Modul ini merupakan output dari fungsi telekomando untuk data analog yang berupa DC volt atau DC miliampere, yang dipakai Master Station untuk memberikan perintah operasi ke suatu *set point controller* misalnya merubah tap trafo, pengaturan frekuensi di unit pembangkit.

#### F. Modul Power Supply

Modul ini sebagai penyedia sumber daya untuk semua modul di Remote Terminal Unit. Tegangan yang disediakan adalah tegangan DC 48 v, 24 v dan 5 v.

#### H. UPS (Uninterruptible Power Supply)

UPS merupakan bagian dari sistem yang terdapat didalam panel RTU. UPS Adalah perangkat yang biasanya menggunakan baterai backup sebagai catuan daya alternatif yang tidak dapat diinterupsi.

Fungsi UPS adalah sebagai penstabil listrik dan untuk membackup kebutuhan listrik dan yang paling terpenting adalah membackup data yang ada dikomputer didalam memori perangkat UPS.

#### I. Protokol Komunikasi Sistem SCADA

Berikut ini protokol komunikasi yang digunakan pada sistem SCADA PT. KDL :

1. Protokol Modbus
2. Komunikasi Serial RS485
3. IEC 60870-5-101 dan IEC 60870-5-104
4. IEC 61850
5. TCP/IP

#### J. Topologi Jaringan

Topologi jaringan adalah sebuah pola interkoneksi dari beberapa terminal komputer. Topologi jaringan merupakan representasi geometri dari hubungan antar perangkat (terminal komputer, repeaters, bridges) satu dengan lainnya. Salah satu jenis topologi yang digunakan pada penerapan

sistem SCADA di PT. Krakatau Daya Listrik adalah topologi jaringan tipe ring. Seluruh sistem jaringan di PT. Krakatau Daya Listrik dibuat *redundant* (jalur jaringan alternatif), sehingga jika dalam suatu jaringan terdapat link yang terputus maka data masih bisa terhubung tanpa mempengaruhi konektivitas perangkat jaringan.

## IV. KESIMPULAN

### 4.1 Kesimpulan

Dari data yang diperoleh dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, antara lain :

1. Dalam mengendalikan sistem tenaga listrik harus diusahakan agar sistem selalu dalam keadaan normal, sehingga aspek pengoperasian sistem tenaga listrik yang meliputi keandalan, kualitas, dan ekonomis dapat dicapai dan memperoleh hasil yang maksimal.
2. Sistem SCADA merupakan bagian yang sangat penting dan berguna untuk memudahkan semua proses produksi serta meningkatkan efisiensi kerja. Sistem SCADA mempunyai fungsi utama sebagai *telecontrolling*, *telesignalling*, dan *telemetry*.
3. Perangkat yang digunakan sistem SCADA terdiri dari *Master Station* (MS), *Remote Terminal Unit* (RTU) dan Saluran Komunikasi antar *Master Station* dan RTU.
4. *Remote Terminal Unit* (RTU) berfungsi untuk mengumpulkan data status dan pengukuran peralatan tenaga listrik, kemudian mengirimkan data dan pengukuran tersebut ke Master Station (pusat control) setelah diminta oleh Master. Disamping itu RTU berfungsi melaksanakan perintah dari master station.
5. RTU juga merupakan suatu komputer yang berisikan seperangkat kartu-kartu elektronik dan beberapa transduser untuk mengubah besaran-besaran analog menjadi sinyal-sinyal digital (analog digital converter, ADC) dan sekaligus sinyal-sinyal ini disimpan dalam suatu penyangga pada kartu modem untuk dikirim ke master station melalui jaringan komunikasi yang ada.
6. Komunikasi data yang digunakan adalah komunikasi modbus, komunikasi serial RS485, TCP/IP dan menggunakan topologi ring.

### 4.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis diantaranya :

1. Senantiasa melakukan perawatan dan pengecekan berkala untuk instrumen yang digunakan dalam proses produksi di PLTU 400 MW PT. Krakatau Daya Listrik untuk menghasilkan kualitas yang terbaik.
2. Melakukan perawatan rutin dari *work station* serta wilayah transmisi dan distribusi listrik.
3. Dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, RTU yang dilengkapi dengan mikrokomputer yang disebut *intelligent remote* sangat diperlukan. Karena dapat melakukan fungsi-fungsi secara otomatis tanpa perintah dari Master Station.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ermawanto. 2011. Jaringan Komputer Sistem SCADA PT. Krakatau Daya Listrik. Dinas Proteksi dan Kompensasi PT. Krakatau Daya Listrik.
- [2] Ermawanto. 2010. Modul Training Sistem Proteksi. PT. Krakatau Daya Listrik.
- [3] Rizky, M. Habibie. 2010. Modul Training SCADA. PT. Krakatau Daya Listrik.
- [4] Leroy, Hudson. 2013. Infrastruktur SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) PT. Krakatau Daya Listrik. Laporan Kerja Praktek : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- [5] Hilmawan, Riyan. 2010. Sistem GIS (Gas Insulated Switchgear) 150 KV dengan Busbar Ganda di PT. Krakatau Daya Listrik. Laporan Kerja Praktek : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- [6] Aliefha, Monique. 2013. Subsistem Komputer SCADA pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 400 MW PT. Krakatau Daya Listrik. Laporan Kerja Praktek : Institute Teknologi Telkom. Bandung.
- [7] Priowirjanto, Gatot. 2003. Bahan Ajar Modul Panel Busbar. Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan. Jakarta.
- [8] Hasan, Andika Ghozali. 2011. RTU560 Sistem SCADA PT. PLN (PERSERO) Penyaluran Dan Pusat Pengaturan Beban Jawa Bali Region Jawa Tengah dan DIY. Universitas Diponegoro.
- [9] Kelompok Bidang SCADA Standarisasi Direksi PT. PLN (Persero). 2006. Peralatan SCADA Sistem Tenaga Listrik. PT. PLN (Persero). Jakarta.
- [10] User's Manual Sepam Series. 2007. Scheneider Electric.
- [11] <http://mastoha.blogspot.com/2008/01/tentang-plc-dcs-dan-scada.html> (URL dikunjungi pada tanggal 19 September 2013)
- [12] <http://iskandarzkarnain.blogspot.com/2012/12/rangkaian-akuisisi-data.html> (URL dikunjungi pada tanggal 19 September 2013)

# Kemudahan Pemrograman Mikrokontroler Arduino Pada Aplikasi Wahana Terbang

Effendi Dodi Arisandi, Peneliti LAPAN

**Abstrak**—Perkembangan teknologi elektronika semakin canggih dengan mengikuti perubahan jaman. Dalam kehidupan sehari-hari, tidak bisa terlepas dari perangkat elektronika, baik yang sederhana maupun yang canggih seperti *smart phone*. Bagi pelajar atau mahasiswa untuk mempelajari pemrograman IC mikrokontroler khususnya keluaran dari ATMEL dipermudah dengan kehadiran sistem *open source* arduino. Jika dibandingkan dengan keadaan 10 tahun yang lalu, pemrograman mikrokontroler pada umumnya masih menggunakan bahasa mesin yang lebih populer disebut dengan bahasa *assembler* dan cukup sulit untuk memahaminya. Banyak sekali aplikasi arduino yang bisa dimanfaatkan dalam penelitian seperti ardupilot untuk aplikasi UAV. Dalam tulisan ini, akan dipaparkan kemudahan dan pemanfaatan sistem arduino dalam perkembangan teknologi elektronika. Dari hasil kajian penggunaan system arduino dapat disimpulkan bahwa dengan system *open source* dan berbiaya murah maka perkembangan teknologi elektronika khususnya dibidang aplikasi mikrokontroler dapat berkembang secara pesat.

**Kata Kunci**—Arduino, Ardupilot, UAV, EDF, Assembler.

## I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN mikrokontroler mengalami kemajuan yang sangat cepat jika dibandingkan dengan 10 tahun yang lalu. Pengetahuan tentang ilmu bahan semikonduktor sangat mempengaruhi perkembangan teknologi pembuatan suatu IC (*integrated circuit*). Teknologi pembuatan sebuah IC dapat dikelompokkan berdasarkan jumlah transistor pada IC tersebut. Penggolongan IC berdasarkan jumlah transistor dapat dibagi menjadi 5 kelompok. Kelompok pertama adalah teknologi SSI (*small scale integration*) yang mempunyai kapasitas komponen sebesar 100 buah. Kelompok kedua adalah MSI (*medium scale integration*) yang mempunyai kapasitas komponen 3000 buah. Kelompok yang ketiga adalah LSI (*large scale integration*) yang mempunyai komponen 3000 sampai 100000 buah, yang berikutnya adalah VLSI (*very large scale integration*) dengan kapasitas komponen 100000 sampai 1000000 buah, dan yang terakhir adalah ULSI (*ultra large scale integration*) dengan kapasitas komponen lebih dari 1 juta buah.

Mikrokontroler keluarga ATMEL banyak digunakan oleh para pelajar atau mahasiswa di Indonesia. Dengan kemudahan pemrogramannya dan harganya yang cukup terjangkau menjadi alasan pemilihan mikrokontroler jenis ini. Pemrograman mikrokontroler diawali dengan penggunaan bahasa mesin yang lebih populer disebut dengan bahasa *assembler*. Bahasa *assembler* atau bahasa

mesin memerlukan pemahaman yang sangat mendalam dikarenakan berhubungan langsung dengan *hardware*-nya.

Perubahan operating sistem pada komputer sangat mempengaruhi perkembangan bahasa pemrograman pada mikrokontroler. Pada saat ini ada beberapa macam bahasa pemrograman untuk mikrokontroler seperti basic dengan editor dan compiler bascom, c++, mikro pascal dll.

Persaingan pasar bagi industri mikrokontroler sangat dipengaruhi oleh kemudahan pemrograman mikrokontroler tersebut beserta fungsi-fungsi pendukungnya. Faktor kedua adalah kemudahan untuk mendapatkan *software compiler*-nya. Pada saat ini sangat berkembang bahasa pemrograman yang berbasis *open source*. Dengan keterbukaan dari inti bahasa pemrograman suatu mikrokontroler maka bahasa pemrograman tersebut akan dapat berkembang dengan pesat.

Arduino merupakan salah satu sistem mikrokontroler yang berbasis *open source* [1]. Istilah arduino dapat dibagi menjadi dua sistem yaitu *hardware* dan *software*. Dengan sistem *open source* baik pada *hardware* maupun *software*-nya dapat memberikan inspirasi yang cukup banyak pada perancangan sistem elektronika. Mikrokontroler dari keluarga ATMEL merupakan inti dari prosesor arduino, seperti ATmega8, ATmega2560, dll.

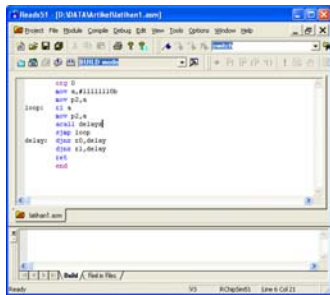
Ardupilot merupakan salah satu teknologi pengembangan dari sistem arduino. Ardupilot merupakan sebuah sistem yang dapat digunakan sebagai otak wahana terbang. Wahana terbang tersebut dapat berupa RC (*remote control*) atau UAV (*unmanned aerial vehicle*) yang dapat dipandu dengan sebuah GPS (*global positioning system*). Sistem ardupilot dilengkapi dengan beberapa macam sensor yang sangat bermanfaat untuk mengetahui kondisi terbang dari sebuah wahana terbang. Beberapa macam sensor yang terdapat pada ardupilot adalah sistem IMU (*inertial measurement unit*), GPS, barometer, dll. Sebuah IMU terdiri dari 3 aksis accelerometer dan 3 aksis gyroscope.

## II. PERKEMBANGAN BAHASA PEMROGRAMAN

### A. Bahasa Assembler

Satu dekade yang lalu pemrograman mikrokontroler masih didominasi oleh bahasa *assembler*. Bahasa *assembler* merupakan bahasa tingkat rendah yang sering disebut dengan bahasa mesin. Bahasa mesin merupakan bahasa pemrograman yang berhubungan langsung dengan istilah *hardware*-nya, seperti register R0. Bahasa *assembler* memiliki keterbatasan istilah dalam pembuatan sebuah program jika dibandingkan dengan bahasa tingkat tinggi. Gambar 1 merupakan contoh pemrograman dengan bahasa *assembler* [2]. Bahasa *assembler* versi lama masih menggunakan sistem DOS. Sedangkan bahasa *assembler*

terbaru sudah bisa dijalankan pada operating sistem windows.

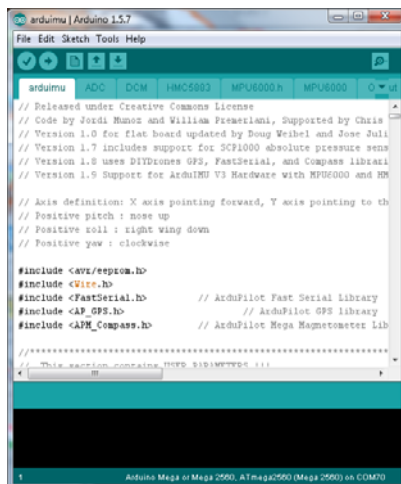


Gambar 1. Pemrograman dengan Bahasa Assembler

**B. Bahasa Tingkat Tinggi**

Perkembangan bahasa pemrograman dari *assembler* ke bahasa tingkat tinggi sangat diperlukan untuk menunjang perkembangan sistem pemrograman yang terstruktur. Pemrograman mikrokontroler dalam bahasa tingkat tinggi, seperti bahasa “C” atau “BASIC” dapat mempercepat dalam proses pembuatan suatu algoritma. Dikarenakan bahasa tingkat tinggi lebih terstruktur jika dibandingkan dengan bahasa *assembler*. Bahasa tingkat tinggi juga dapat mempercepat pemahaman pemrograman mikrokontroler bagi pemula. Disamping ada keunggulan, ada juga kelemahan dalam pemrograman dengan bahasa tingkat tinggi, yaitu kapasitas hasil *compiler* lebih besar dan kecepatan lebih lambat jika dibandingkan dengan bahasa *assembler*. Hal ini dikarenakan terlalu banyak perintah yang harus diterjemahkan dalam bahasa tingkat tinggi tersebut.

Bahasa pemrograman tingkat tinggi yang berbasis *open source* dapat mempercepat perkembangan bahasa pemrograman tersebut. Dikarenakan banyak peneliti yang bisa ikut dalam mengembangkan bahasa pemrograman tersebut. Arduino merupakan salah satu bahasa pemrograman berbasis C yang *open source*. Ardupilot adalah salah satu hasil perkembangan arduino yang berbasis *open source* baik secara *hardware* maupun *software*-nya. Gambar 2 merupakan pemrograman mikrokontroler ATMEL dengan arduino.



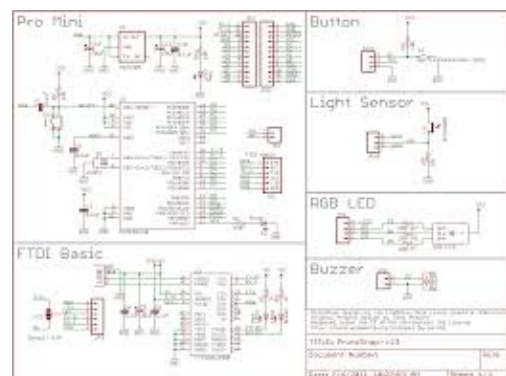
Gambar 2. Pemrograman dengan Arduino

**III. ARDUINO OPEN SOURCE**

Sistem arduino merupakan sebuah sistem yang *open source* baik secara *hardware* maupun *software*.

Perkembangan sistem software arduino disesuaikan dengan perkembangan *hardware*-nya. Dengan metode *open source*, maka semua peneliti atau penghobi elektronika khususnya dibidang mikrokontroler dapat berdiskusi secara luas dengan komunitas yang ada. Semua informasi tentang arduino baik secara *hardware* (informasi skematik modul elektroniknya) maupun *software* dapat diunduh diwebsitenya [1]. Gambar 3 adalah contoh dari sebuah skematik arduino.

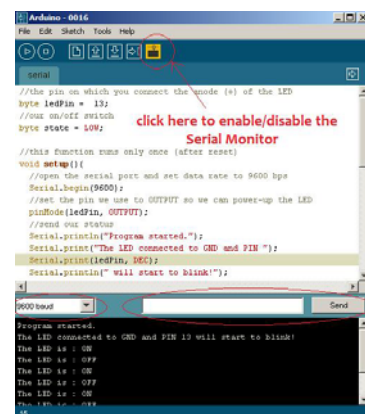
Ada beberapa macam tipe arduino secara *hardware* yaitu arduino uno, arduino mega, arduino leonarda dan sebagainya. Gambar 4 adalah beberapa macam modul arduino. Pemilihan pada sebuah modul arduino bisa disesuaikan dengan kebutuhan pada aplikasi yang akan dirancang. Untuk melakukan *debug* hasil pemrograman dapat memanfaatkan fasilitas serial monitor pada software arduino seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 3. Skematik Arduino Uno [5]



Gambar 4. Module Arduino



Gambar 5. Serial Monitor di Arduino Software

Antar muka antara modul arduino dengan komputer melalui *port* USB. Ada beberapa keuntungan dengan menggunakan antar muka USB, yaitu selain sebagai transfer data dari komputer ke modul arduino dan sebaliknya juga bisa menyediakan tegangan DC 5 volt untuk modul arduino tersebut. Gambar 6 adalah contoh antarmuka modul arduino dengan komputer.



Gambar 6. Antarmuka Modul Arduino dengan Komputer

#### IV. APLIKASI ARDUPILOT PADA WAHANA TERBANG

Ardupilot merupakan sebuah modul elektronika yang dapat digunakan untuk mengendalikan wahana terbang seperti UAV, EDF, helicopter, multicopter dan sebagainya [3-4]. Ardupilot mempunyai beberapa fasilitas navigasi untuk mengendalikan sebuah wahana terbang. Fasilitas tersebut seperti IMU (*Inertial Measurement Unit*), GPS, *pressure transducer*. Ardupilot mempunyai beberapa tipe seperti yang tertera pada Tabel 1. Beberapa fitur pada ardupilot adalah sebagai berikut:

1. Open source firmware yang support pada pesawat, multicopters (quads, hex, oct, dll), helicopters dan kendaraan.
2. Instalasi yang cukup mudah.
3. Dapat mendukung ratusan *waypoint* secara 3D.
4. Dilengkapi dengan sistem *autonomous takeoff*, *landing* dan beberapa perintah khusus.
5. Dapat disimulasikan dengan software Xplane dan Flight Gear.

Ardupilot dilengkapi dengan beberapa macam hardware sensor yang antara lain:

1. 3 aksis sensor gyro.
2. 3 aksis sensor accelerometer.
3. 3 aksis magnetometer.
4. Sensor tekanan udara untuk ketinggian.
5. Module GPS dengan frekuensi 5-10Hz.
6. Memori penyimpanan data internal 4 Mb.
7. Beberapa macam sensor yang dapat ditambahkan, seperti sensor kecepatan udara, sensor arus, dan telemetri 2 arah.

Lembaga penerbangan dan antariksa (LAPAN) khususnya bidang kendali pusat teknologi roket pada saat ini mengembangkan wahana terbang RKK200-EDF. Wahana terbang tersebut menggunakan ardupilot sebagai pengontrol utama. Beberapa misi yang telah dilakukan dalam penelitian wahana terbang tersebut adalah misi *waypoint*, misi stabilisasi, misi jarak dan saat ini sedang dikembangkan misi *auto takeoff* dan *auto landing*. Gambar 7

adalah contoh wahana terbang RKK-200 EDF yang dikembangkan oleh LAPAN. Wahana terbang RKK-200 EDF mempunyai berat total 15 kg. Kecepatan awal sebesar 150-200 KM/jam dibutuhkan wahana RKK-200 EDF sebagai gaya angkat untuk memulai misi terbangnya. Oleh karena itu diperlukan sebuah sistem pelontar yang bisa memberikan kecepatan sebesar 150-200km/jam. Sistem pelontar yang telah dibuat adalah berupa sistem pneumatik dan booster. Sistem pneumatik memerlukan tekanan udara sebesar 8 bar dan sistem booster mempunyai daya dorong sebesar 60kgf.

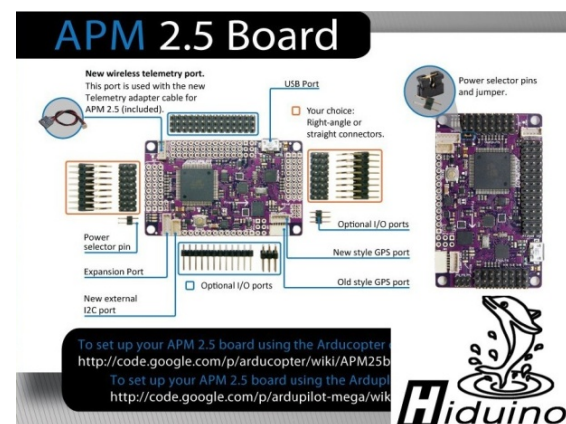


Gambar 7. Wahana Terbang RKK-200 EDF

Table 1. Tipe Ardupilot [6]

Autopilot	Ardupilot (aka "legacy")	Ardupilot Mega APM 1-1280	Ardupilot Mega APM 1-2560	Ardupilot Mega APM 2
Date of introduction	Q1 2009	Q1 2010	Q1 2011	Q4 2011
Status	Discontinued	Discontinued	Active	Active
Processor	Atmega 328, attiny	Atmega 1280 Atmega 328	Atmega 2560 Atmega 328	Atmega 2560 Atmega 32u2 MPU-6000 DMP processor
Onboard sensors	None. External: Thermopiles or optional ArduIMU	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	3-axis gyro, 3-axis accel, baro, optional mag	6-axis MPU6000 (gyro+accel), baro, mag, GPS
Datalogging memory	None	2MB	2MB	4MB
Size	30x50x30mm	40x72x20mm	40x72x20mm	40x65x10mm
Assembly required	Lots!	Some soldering	Some soldering	None

Board ardupilotmega (APM) 2.5 dapat dilihat pada Gambar 8. Software antar muka dengan ardupilot dapat digunakan untuk menentukan konfigurasi, pengetesan, penentuan misi terbang dan analisis hasil misi terbang. Gambar 9 menunjukkan real time misi *waypoint* pada suatu wahana terbang.



Gambar 8. Board APM 2.5 [6]



Gambar 9. Hasil Waypoint Wahana Terbang RKX-200

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Penguasaan teknologi ilmu bahan sangat berperan penting dalam perkembangan teknologi elektronika. Teknologi pembuatan IC mengalami perkembangan yang sangat cepat dengan diawali kemampuan pembuatan IC dengan kategori *small scale intergration* (SSI) sampai dengan kategori *ultra large scale integration* (ULSI). Perkembangan modul Ardupilot membuktikan bahwa perkembangan IC mikrokontroler sangat berperan penting. Inti dari prosesor ardupilot adalah IC mikrokontroler ATMEL ATmega2560.

Penelitian dalam wahana terbang dapat memanfaatkan sistem ardupilot. Hal ini dikarenakan sistem ardupilot sudah mempunyai fitur yang diperlukan dalam mengontrol sebuah wahana terbang. Sistem ardupilot dapat dikondisikan sebagai sistem manual atau otomatis.

### B. Saran

Diperlukan suatu penelitian yang cukup mendalam untuk dapat membuat sebuah sistem yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Dikarenakan sistem ardupilot memiliki keterbatasan pada wahana terbang yang mempunyai kecepatan diatas 250Km/jam.

## REFERENCES

- [1] <http://arduino.cc/en/main/software>
- [2] <http://www.mikron123.com/index.php/Tutorial-MCS-51/Pemrograman-AT89S51-bahasa-Assembly.html>
- [3] Mulyani, Katjuk Astrowulan dan Joko Susila, "Autolanding Pada UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Menggunakan Kontroler PID-Fuzzy", Jurusan Teknik Elektro, ITS, Jurnal Teknik POMITS Vol. 1, No. 1, (2012) 1-5.
- [4] Muhammad Arifudin Lukmana dan Hendro Nurhadi, "Rancang Bangun Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Empat Baling-baling (Quadrotor-Arducopter)", Jurusan Teknik Mesin, ITS.
- [5] <https://www.sparkfun.com/tutorials/303>
- [6] <http://diydrones.com/notes/ArduPilot>

# Prototipe Rele Proteksi *Overheating* pada Motor 1 Phasa Berbasis Mikrokontroler AT89C51

Endi Permata<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Departemen Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tritayasa  
Cilegon-Indonesia 42435  
e-mail : endi\_permata@yahoo.com

**Abstrak**—Rele proteksi panas berlebih berbasis mikrokontroler AT89S51 merupakan suatu alat yang digunakan untuk memproteksi motor agar tidak terjadinya kerusakan pada motor. Pada penelitian ini dibuat prototipe rele proteksi panas berlebih pada motor 1 phasa berbasis mikrokontroler AT89S51 berdasarkan kelas isolator yang dipakai pada motor yaitu Y dan A dengan sistem pengendalinya adalah mikrokontroler AT89C51. Mikrokontroler AT89C51 sebagai pengendali dari piranti – piranti lain yang digunakan seperti sensor suhu LM35, Op-Amp, dan ADC, apabila suhu yang terdeteksi oleh sensor tidak sesuai dengan penyetingan batasnya tersebut maka mikrokontroler AT89C51 memerintahkan ke relay 12 Vdc untuk membunyikan alarm dan juga menghidupkan kontaktor yang terhubung ke motor. Sehingga Motor terselamatkan dari gangguan panas berlebih yang dapat menyebabkan motor terbakar. Adapun untuk mengetahui pada suhu berapa terjadinya gangguan pada motor ditampilkan melalui display LCD 16x2.

**Kata kunci** : Rele Proteksi, Mikrokontroler Atmel AT89C51, Sensor Suhu LM35

## I. PENDAHULUAN

Penggunaan mikrokontroler sangat luas, tidak hanya untuk akuisisi data melainkan juga untuk pengendalian di pabrik-pabrik, kebutuhan peralatan kantor, peralatan rumah tangga, automobil, pengendalian peralatan listrik, dan sebagainya. Hal ini disebabkan mikrokontroler merupakan sistem mikroprosesor (yang didalamnya terdapat CPU, ROM, RAM dan I/O) yang telah terpadu pada satu keping (*single chip*), selain itu mikrokontroler AT89C51 murah dan mudah didapatkan di pasaran.

Dalam pemakaiannya mikrokontroler dapat dihubungkan dengan peralatan antarmuka (*interface*) yang berlaku sebagai peranti masukan atau keluaran. Melalui interface inilah mikrokontroler dapat mengendalikan berbagai peralatan lain. Dengan memahami cara kerja mikrokontroler tersebut, maka penulis selanjutnya mencoba untuk merancang dan merakit sebuah alat yang merupakan sebagian dari aplikasi-aplikasi yang lain yaitu Perancangan sistem kontrol otomatis yang digunakan untuk rele proteksi *overheating* atau panas berlebih pada motor 1 phasa berbasis mikrokontroler AT89C51. Mikrokontroler yang digunakan adalah AT89C51 yang masih merupakan keluarga arsitektur MCS-51.

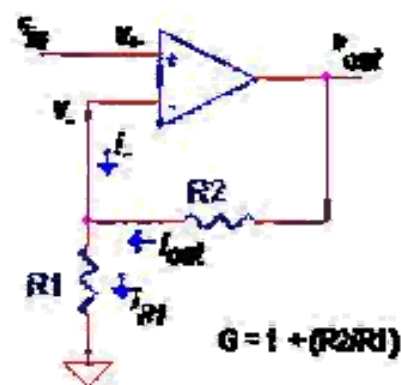
Penggunaan mikrokontroler AT89S51 sebagai basis pembahasan dalam penelitian ini karena mikrokontroler ini memiliki kelengkapan-kelengkapan yang diperlukan untuk bekerja sebagai sistem *single chip* dan juga pertimbangan ekonomis.

### A. Op-Amp (*operational Amplifier*)

*Operational Amplifier* atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang biasa digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Op-amp pada dasarnya adalah sebuah *differential amplifier* (penguat diferensial) yang memiliki dua masukan, input (masukan) op-amp seperti yang telah diketahui ada yang dinamakan input inverting dan non-inverting. Aplikasi op-amp yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian inverter, non-inverter, integrator dan differensiator. Di dalam op-amp rangkaian *feedback* (umpan balik) negatif memegang peranan penting. Secara umum, umpanbalik positif akan menghasilkan osilasi sedangkan umpanbalik negatif menghasilkan penguatan yang dapat terukur.

#### 1. Non-Inverting Op-Amp

Prinsip utama rangkaian penguat *non-inverting* adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 1. Penguat ini memiliki masukan yang dibuat melalui input *non-inverting*. Dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan inputnya. Di dalam menganalisa rangkaian penguat op-amp non inverting sama dengan cara menganalisa rangkaian penguat op-amp inverting.



Gambar 1. Penguat *Non-Inverting*

Ada dua aturan penting dalam melakukan analisa rangkaian op-amp berdasarkan karakteristik op-amp ideal.



Aturan ini dalam beberapa literatur dinamakan *golden rule*, yaitu :

- Aturan 1, perbedaan tegangan antara input  $V_+$  dan  $V_-$  adalah nol ( $V_+ - V_- = 0$  atau  $V_+ = V_-$ )
- Aturan 2, arus pada input Op-amp adalah nol ( $I_{(+)} = I_{(-)} = 0$ )

Dengan menggunakan aturan 1 dan 2, kita uraikan dulu beberapa fakta yang ada, antara lain :

$$V_{in} = V_- = V_+ = 0$$

Dari sini ketahui tegangan jepit pada  $R_2$  adalah :

$$V_{out} - V_- = V_{out} - V_{in}$$

$$I_{out} = (V_{out} - V_{in}) / R_2$$

Lalu tegangan jepit pada  $R_1$  adalah :

$$V_- = V_{in}$$

$$I_{R1} = V_{in} / R_1$$

Hukum kirchhoff pada titik input inverting merupakan fakta yang mengatakan bahwa :

$$I_{out} + I_{(-)} = I_{R1}$$

Aturan 2 mengatakan bahwa  $I_{(-)} = 0$  dan jika disubsitusi ke rumus yang sebelumnya, maka diperoleh :

$$I_{out} = I_{R1}$$

$$(V_{out} - V_{in}) / R_2 = V_{in} / R_1$$

$$V_{out} = V_{in} (1 + R_2/R_1)$$

Jika penguatan  $G$  adalah perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka didapat penguatan op-amp non-inverting :

$$G = V_{out}/V_{in} = 1 + R_2/R_1$$

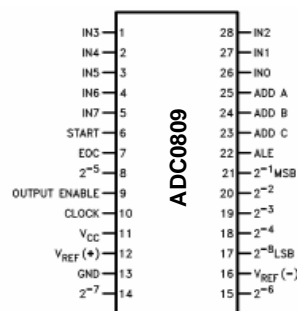
## 2. Analog To Digital Converter (ADC)

ADC0809 adalah IC pengubah tegangan analog menjadi tegangan digital dengan masukan berupa 8 kanal input yang dapat dipilih. IC ADC0809 dapat melakukan proses konversi secara terkontrol (terprogram) atau pun *free running*, artinya ADC tersebut akan mengkonversi terus-menerus sinyal input yang masuk ke ADC.

Tabel 1. Pemilihan Kanal Input ADC0809

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	A2	A1	A0
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

Sistem mikroprosesor atau mikrokontroler hanya dapat mengolah (memproses) data dalam bentuk biner saja, atau lebih sering disebut besaran digital, oleh sebab itu setiap data analog yang akan diproses oleh mikroprosesor atau mikrokontroler harus diubah terlebih dahulu kedalam bentuk kode biner (digital). Tegangan analog yang merupakan masukan dari ADC berasal dari transducer. *Transducer* inilah yang mengubah besaran kontinyu seperti temperature, frekuensi, tekanan, kecepatan, ataupun putaran motor menjadi tegangan listrik. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh transducer yang merubah secara kontinyu pada suatu range tertentu disebut tegangan analog, tegangan analog ini diubah oleh ADC menjadi bentuk digital yang sebanding dengan tegangan analognya.

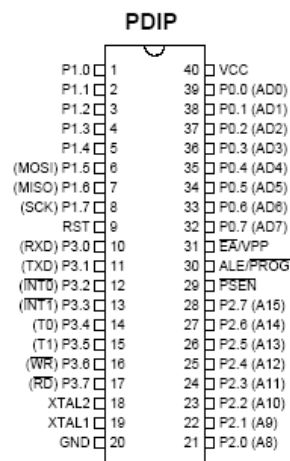


Gambar 2. Pin ADC 0809 8-bit

## B. Mikrokontroler AT89C51

AT89C51 merupakan salah satu produk mikrokontroler yang dikeluarkan oleh Atmel. Mikrokontroler AT89C51 sendiri terbentuk dari perpaduan arsitektur perangkat keras keluarga mikrokontroler MCS51 dari Intel dan tambahan teknologi Flash Memori, sehingga AT89C51 terbentuk sebagai mikrokontroler dengan fasilitas *timer*, *port serial*, 32 kaki I/O, RAM dan *Flash Memori* yang digunakan untuk keperluan penyimpanan program. Dengan demikian, desain elektronika menjadi ringkas, praktis dan ekonomis karena dimungkinkan untuk membuat suatu sistem hanya dalam satu *single chip* saja. Mikrokontroler AT89C51 terdiri beberapa bagian yang berfungsi untuk mendukung pengendaliannya, bagian-bagiannya sebagai berikut :

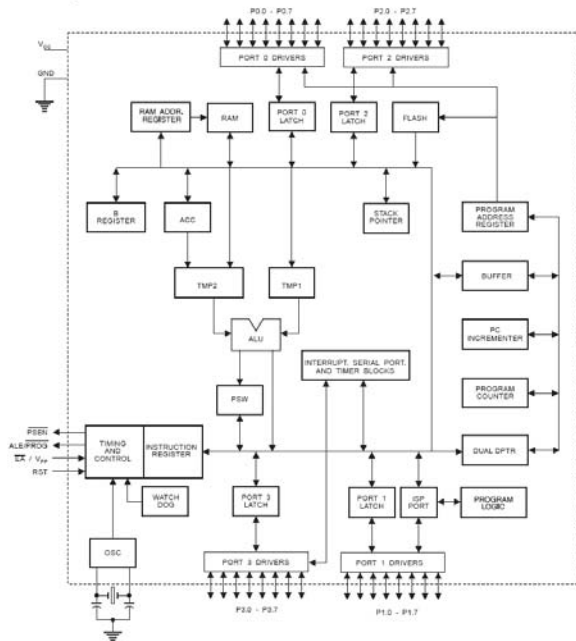
1. Kapasitas memori internal 4 Kb (*flash 4Kbytes*)
2.  $128 \times 8$  byte RAM (*Random Access Memory*) internal
3. 32 jalur I/O yang dapat diprogram
4. 2 buah 16-bit pewaktu/pencacah (*timer/counters*)
5. Serial port *full duplex*
6. *Chip oscillator* dan *clock*
7. 6 buah sumber interupsi
8. Kompatibel dengan semua produk MCS-51



Gambar 3. Konfigurasi pin AT89C51

Gambar berikut di bawah ini merupakan gambar arsitektur perangkat keras mikrokontroler AT89C51.

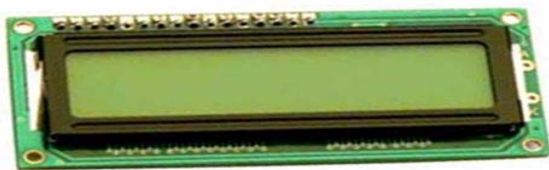
Block Diagram



Gambar 4. Arsitektur AT89C51

### C. Display Modul LCD 16 X 2

Liquid Crystal Display atau biasa juga disebut LCD adalah salah satu jenis tampilan yang dapat digunakan untuk menampilkan karakter-karakter angka, huruf dan karakter-karakter simbol lainnya selain tampilan LCD lain dan tampilan *seven segments*. Keistimewaan dari LCD matriks ini dibanding LCD lain dan *seven segment* adalah dapat digunakan untuk menampilkan karakter-karakter simbol seperti  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\Sigma$ ,  $\pm$ ,  $\{$ ,  $\}$  dan lain sebagainya. Hal ini karena pada LCD matriks digunakan dot-matriks (titik-titik yang membentuk matriks) untuk menampilkan suatu karakter sehingga LCD matriks dapat ditampilkan lebih banyak bentuk karakter dibanding modul tampilan lainnya.



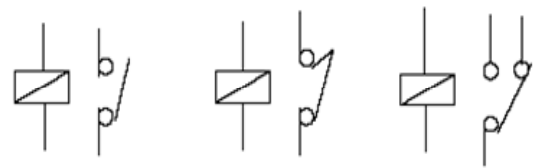
Gambar 5. LCD M1632

### D. Relay

Relay adalah alat yang dioperasikan dengan listrik yang secara mekanis mengontrol penghubungan rangkaian listrik. Relay adalah bagian yang penting dari banyak sistem kontrol, bermanfaat untuk kontrol jarak jauh dan untuk pengontrolan alat tegangan dan arus tinggi dengan sinyal kontrol tegangan dan arus rendah. Kontak-kontak atau kutub-kutub dari relay umumnya memiliki tiga dasar pemakaian yaitu :

1. Bila kumparan dialiri listrik maka kontakannya akan menutup dan disebut sebagai kontak *Normally Open* (NO).
2. Bila kumparan dialiri listrik maka kontakannya akan membuka dan disebut sebagai kontak *Normally Close* (NC).
3. Tukar-sambung (*Change Over/CO*), relay jenis ini mempunyai kontak tengah yang normalnya tertutup

tetapi melepaskan diri dari posisi ini dan membuat kontak dengan yang lain bila relay dialiri listrik.



Normally Open

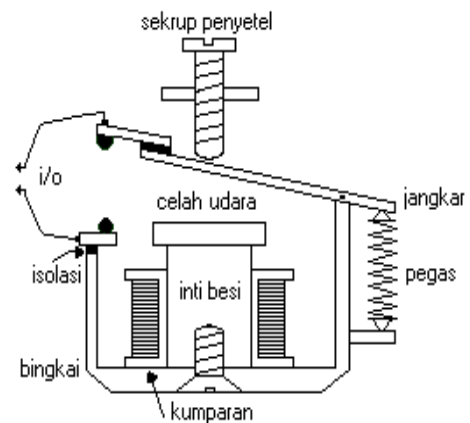
Normally Close

Change Over

Gambar 6. Jenis Kontak Relay

Relay dapat menarik kontak-kontak, kalau gaya magnet dapat mengalahkan gaya pegas yang melawannya. Maka kontak pun menutuplah. Besarnya gaya magnet ditetapkan oleh kuat medan magnet yang ada di dalam celah udara, diantara jangkar dan inti. Adapun kuat medan ini bergantung pula kepada banyaknya lilitan kumparan itu, atau dengan singkat: bergantung kepada ampere-lilitan.

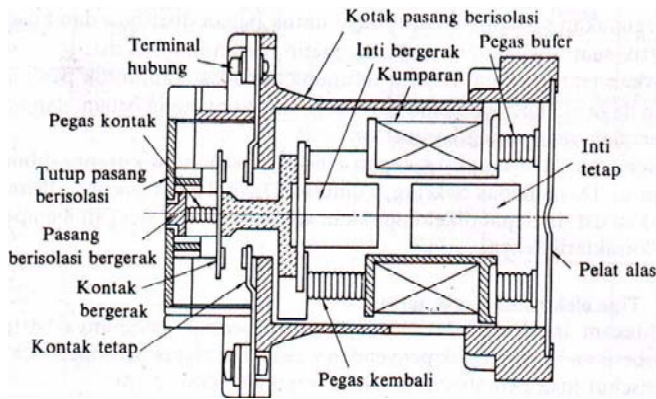
Kuat medan didalam celah udara juga akan makin kuat, kalau letak jangkar makin dekat pada inti. Jarak antara jangkar dan inti dapat diatur-aturl dengan sekerup penyetel. Dengan jarak yang kecil, maka daya tarik dapat dibesarkan, tetapi saat-saat membuka akan kurang memuaskan.



Gambar 7. Konstruksi Relay

### E. Kontaktor Elektromagnetik

Pada dasarnya, prinsip kerja kontaktor elektromagnetik sama dengan relay. Namun biasanya kontaktor di gunakan untuk arus AC, biasanya kontaktor di gunakan secara bersamaan atau dikombinasi dengan relay. Kontaktor elektromagnetik juga dapat dipergunakan untuk pengasutan, pengereman berulang kali, dan pengendalian motor dan peralatan elektrik, dengan menggunakan saklar tekan tombol untuk kendali. Ia mempunyai kemampuan untuk pensaklaran arus lebih seperti arus asut dari motor, tapi tak ada kemampuan untuk memutus arus abnormal seperti dalam hal hubung singkat motor. Karena itu, untuk pemutus arus abnormal, sekring atau pemutus daya juga diperlukan.



Gambar 8. Konstruksi Kontaktor Elektromagnetik

#### F. Motor Arus Bolak – Balik 1 $\Phi$ (Motor AC)

Motor arus bolak - balik atau motor AC adalah suatu mesin listrik yang berkerja dengan merubah energi listrik AC menjadi energi mekanis.

Suatu motor AC terdiri dari stator, rotor. Stator merupakan kutub-kutub medan magnet yang tidak bergerak (statis), sedangkan rotor merupakan kutub medan magnet yang berputar. Motor 1 $\Phi$  memiliki suatu saklar sentrifugal yang diperlukan untuk keperluan start, hal ini disebabkan karena fluks yang dihasilkan oleh kumparan stator atau fasa bukanlah suatu medan putar, melainkan suatu medan bolak balik ini tidak akan menyebabkan sebuah rotor berputar

Gambar 9. Penampang Motor Induksi 1 $\Phi$ 

#### G. Bahan Isolator (Insulator)

Bahan isolator adalah bahan non metal dan mempunyai koefisien temperatur tahanan negatif. Bahan ini sangat penting terutama untuk mencegah terjadinya ledakan listrik karena perbedaan tegangan yang ada. Hampir semua peralatan listrik menggunakan bahan isolator terutama dalam pemasangannya. Tahanan isolasi dipengaruhi oleh :

1. Temperatur, jika temperatur naik maka tahanan isolasinya akan turun.
2. Kelembaban, tahanan bahan isolasi akan turun pada daerah yang mempunyai kelembaban yang tinggi.
3. Tegangan yang digunakan. Jika tegangan yang dinaikkan maka tahanan isolasinya akan turun.
4. Umur bahan, tahanan isolasi akan turun jika bahan sudah lama dipakai atau disimpan.

##### a. Sifat Termal Isolator

Sifat-sifat thermal yang harus diperhatikan dalam pemilihan bahan isolator adalah:

1. Titik lebur, sebaiknya dicari bahan yang titik leburnya tinggi supaya tidak mudah leleh.

2. Angka pemuaian panas, dicari bahan yang paling kecil angka pemuaiannya.
3. *Thermal Konduktiviti*, hal ini disesuaikan dengan penggunaannya. Jika dikehendaki bahan harus mendistribusikan panas maka bahan yang hantaran panasnya tinggi harus dipilih. Namun biasanya untuk isolator memiliki hantaran panas rendah.
4. Mudah terbakar/menyala, harus dicari bahan yang tidak mudah terbakar, jika terbakar maka harus tahan terhadap keretakan.
5. Tidak lembek
6. Tahan Terhadap Panas

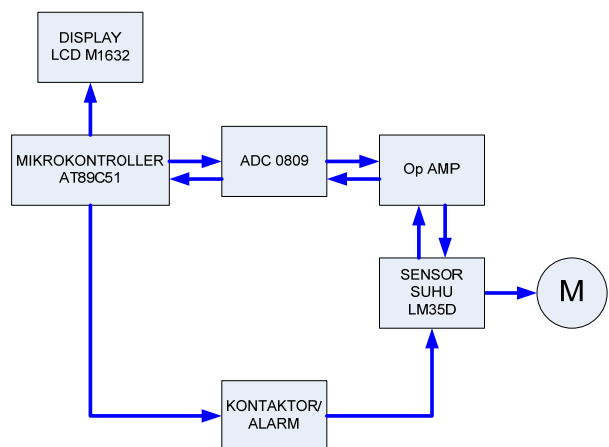
Tabel 2. Klasifikasi Bahan Isolasi

Kelas	Suhu Kerja Maksimum
Y	90°C
A	105°C
E	120°C
B	130°C
F	155°C
H	180°C
C	Diatas 180°C

## II. METODE PENELITIAN

### A. Perancangan Alat

Perancangan dan pembuatan alat merupakan bagian yang terpenting dari penelitian ini yaitu prototipe rele proteksi overheat pada motor 1 fasa berbasis mikrokontroler AT89C51. Pada prinsipnya perancangan dan sistematik yang baik akan memberikan kemudahan-kemudahan dalam proses pembuatan alat.

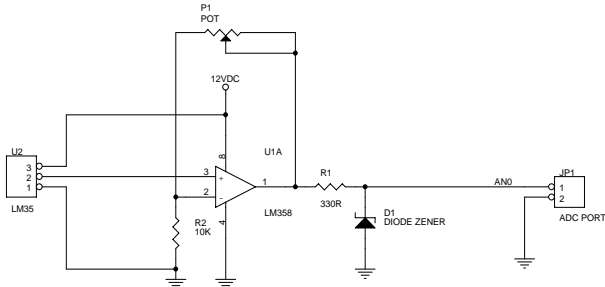


Gambar 10. Blok Diagram Rangkaian

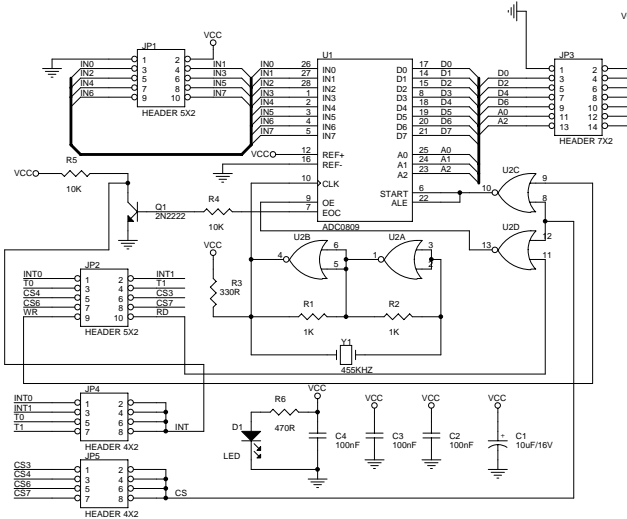
Adapun fungsi dari peralatan pada gambar diatas adalah sebagai berikut :

1. Sensor LM35 sebagai pendeteksi panas yang terjadi pada motor
2. Rangkaian Op-Amp non-Inverting sebagai penguat dari rangkain sensor, agar kenaikan setiap derajat C sama dengan kenaikan perbit pada ADC.
3. ADC 0809 sebagai *converter* dari sinyal masukan analog berupa tegangan dari sensor, kemudian di ubah menjadi bilangan biner agar mudah untuk di deteksi oleh rangkaian mikrokontroler

- Mikrokontroler AT89S51 sebagai otak/pemroses semua modul baik aksi maupun reaksi dari program keseluruhan
- Display LCD M1632 sebagai penampil suhu yang terdeteksi dan juga sebagai indicator pada suhu berapa rele berkerja/bereaksi.
- Kontaktor/alarm memberikan informasi kepada operator bahwasanya terjadi gangguan overhear pada motor

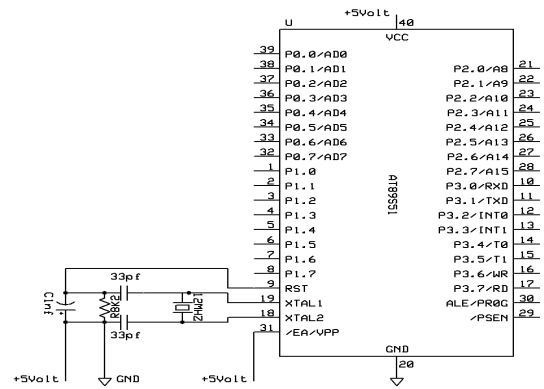


Gambar 11. Rangkaian Op-Amp dan LM35



Gambar 12. Skema Modul ADC-0809

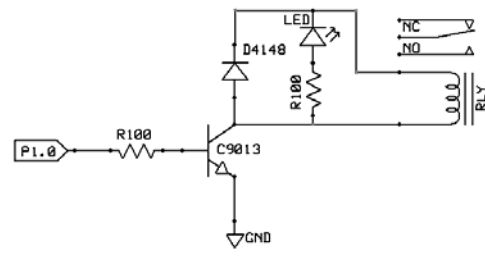
Analog-to-Digital Converter adalah sebuah peralatan yang paling sering digunakan untuk melakukan pencuplikan data (data acquisition). Komputer Digital selalu menggunakan nilai-nilai biner (discrete), tapi dalam dunia nyata semua adalah analog (continuous). Suhu, tekanan (gas atau cair), kelembaban, dan kebisingan adalah beberapa contoh dari nilai-nilai fisika yang akrab dengan kita. Nilai fisika tersebut harus dikonversi menjadi nilai listrik dengan alat yang digolongkan sebagai transduser. Transduser kadang-kadang juga disebut sebagai sensor. Masing-masing sensor misalnya Suhu, Velocity, Tekanan, Cahaya, dan yang lainnya, memiliki output besaran listrik. Dan kita butuh sebuah konverter analog-ke-digital untuk mengartikan besaran besaran listrik tersebut menjadi besaran-besaran angka digital yang dimengerti komputer. Di dunia mikrokontroler chip yang sudah terkenal adalah ADC0809.



Gambar 13. Modul Mikrokontroler

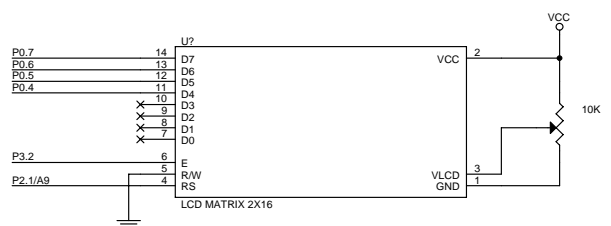
Pada perancangan ini, penulis membuat rangkaian mikrokontroler dengan kapasitor 10µF diparalel dengan resistor 10KΩ, kapasitor dihubungkan dengan tegangan sebesar 5 volt sedangkan resistor dihubungkan ke ground, kemudian pada titik antara kapasitor dan resistor dihubungkan pada IC AT89S51 kaki 9 (Pin 9), rangkaian ini digunakan untuk rangkaian reset.

Mikrokontroler di-reset pada transisi tegangan rendah ke tegangan tinggi dan mengeksekusi program pada saat reset (RST) dalam keadaan logika rendah. Oleh karena itu pada pin RST dipasang kapasitor yang terhubung ke Vcc dan resistor ke ground yang akan menjaga RST bernilai 1 pada saat pengisian kapasitor dan akan kembali 0 sesaat kemudian, dengan demikian mikrokontroler akan di-reset setiap kali diberi catu daya. Kemudian 1 buah kristal dihubungkan diantara kaki 18 dan 19 yaitu XTAL1 dan XTAL2 pada mikrokontroler dan hubungkan 2 kapasitor 33pF ke ground, rangkaian ini digunakan sebagai sumber detak (clock) ke CPU.



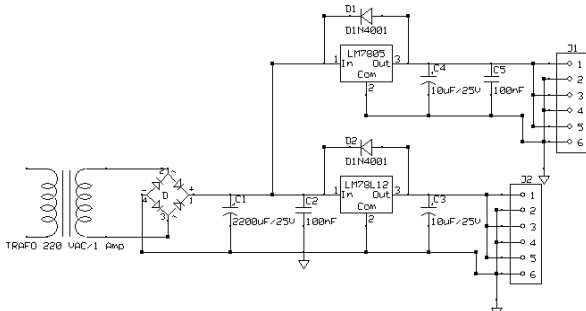
Gambar 14. Rangkaian Relay 12 VDC

Rangkaian ini dirancang dengan tujuan sebagai alat penggerak atau saklar untuk mengontak sebuah kontaktor dan alarm. Ketika rangkaian mikrokontroler mendeteksi adanya gangguan maka dengan waktu kurang dari 5 detik rangkaian mikrokontroler memerintahkan (mengontak) relay untuk memutus hubungan AC pada motor yang telah dihubungkan ke kontaktor sebelumnya.



Gambar 15. Rangkaian LCD M1632 yang terkendali oleh AT89S51

LCD berfungsi sebagai tampilan dari data atau nilai yang dimasukkan melalui pembanding. LCD yang digunakan jenis M1632 standar dengan tampilan 16×2 baris dengan konsumsi daya yang rendah. LCD dicatu dengan tegangan +5V pada Vcc dan *ground*. Di samping itu juga menggunakan variabel resistor 10KΩ sebagai pengatur tegangan kontras LCD pada kaki 3. Untuk kaki yang berfungsi sebagai *read and write* (R/W) dihubungkan ke *ground*. Kaki yang berfungsi sebagai *enable* (E) atau pengaktifan LCD dihubungkan ke port 3.2. Untuk *backlight* di hubungkan ke catu daya 5volt DC. Sedangkan kaki register pemilih sinyal data LCD dihubungkan ke port 2.1. Bus data D4 s/d D7 yang terdapat di LCD dihubungkan ke AT89C51 melalui port 0.4 s/d port 0.7



Gambar 16. Rangkaian Power Supply

*Power Supply* merupakan komponen yang sangat perlu diperhatikan dalam suatu sistem kontrol. Performa kerja dari suatu sistem kontrol sangat tergantung pada *power supply* itu sendiri, intinya secanggih apapun suatu sistem yang kita bangun tanpa ditunjang oleh *power supply* yang optimal maka akan mempengaruhi atau mengurangi performa kerja sistem tersebut. *Power supply* yang dirancang pada modul ini dimaksudkan untuk memberikan *supply* daya kepada mikrokontroler.

## B. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

### 1. Personal Computer (PC)

Pada dasarnya PC yang dipakai pada penelitian ini adalah PC yang kompetibel, dengan konfigurasi tidak mengikat. Adapun PC yang penulis gunakan adalah :

- Prosesor Pentium 4 1,8 GHZ
- DDRAM 512 MB
- Hard Disk 40 GB
- Video RAM 64 MB
- Sistem Operasi Windows XP SP2

### 2. Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Untuk membuat suatu program yang dapat direalisasikan dengan hardware maka penulis membuat program sumber atau source code dengan program editor biasa seperti notepad pada windows atau sidekick pada Dos. Setelah program dibuat sesuai dengan penulis inginkan, program sumber tersebut diterjemahkan ke dalam bahasa mesin, dalam hal ini penulis menggunakan program Assembler (ASM51) sebagai program compilernya. Hasil kerja assembler adalah “program objek” dan juga “assembly listing”.

```

heatm1.asm - Notepad
File Edit Format View Help
Listing program relay overheating
=====
$MOD51
Org 00H
Ajmp Start

Start:
Mov P1,#00H
=====
Lcall Delay_500ms
Lcall Init_LCD
Mov DPTR,#Pesani_CD
Lcall Kirim_Pesan_LCD
Lcall Delay_500ms
Lcall Baris_2_LCD
Mov DPTR,#Pesani_CD2
Lcall Kirim_Pesan_LCD
Lcall Delay_500ms
Ajmp Start1

Pesani_CD:
DB ' Prototipe I',0FH
Pesani_CD2:
DB 'RelayOverheating',0FH

```

Gambar 17. Program Source Code Pada Notepad

Pada gambar di atas merupakan program source code yang akan di Assembler menggunakan ASM51. Hasil kerja assembler adalah “program objek” dan juga “assembly listing”.

```

[Inactive ASM51.EXE]
ASM51 Cross-Assembler, Version 1.2h
(c) Copyright 1984, 1985, 1986, 1987, 1988, 1989, 1990
by Metalink Corporation
Source file drive and name [L:ASM]: heatm1.asm
First pass
Second pass
ASSEMBLY COMPLETE, 0 ERRORS FOUND

```

Gambar 18. Tampilan Program ASM51

Program objek berisikan kode-kode bahasa mesin, kemudian kode-kode bahasa mesin inilah yang diumpangkan ke memori program prosesor, program ini disikan ke dalam Flash PEROM yang ada di dalam chip AT89C51. Untuk memasukan program ke dalam Flash PEROM AT89C51 diperlukan sebuah alat yang disebut Downloader atau *Flash Perom Programmer*. Gambar di bawah ini merupakan jenis downloader atau *Flash Perom Programmer* yang digunakan oleh penulis.



Gambar 19. DT-HIQ Programmer

Assembly Listing merupakan naskah yang berasal dari program sumber, dalam naskah tersebut pada bagian sebelah setiap baris dari program sumber diberi tambahan hasil terjemahan program Assembler. Tambahan tersebut berupa nomor alamat memori program berikut dengan kode yang akan diisikan pada memori program bersangkutan. Naskah ini sangat berguna untuk dokumentasi dan sarana untuk menelusuri program yang ditulis.

## III. HASIL DAN ANALISIS

## A. Pengujian Sensor LM35 dan Op-Amp

Dari tegangan yang dihasilkan pada sensor dan setelah penguatan didapat hasil seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran  $V_{OUT}$  Sensor dan  $V_{OUT}$  Op-Amp

$V_{OUT}$ Sensor (mV)	$V_{OUT}$ Op-Amp (mV)
396	788
405.9	807.7
415.8	827.4
425.7	847.1
435.6	866.8
445.5	886.5
455.4	906.2
465.3	925.9
475.2	945.6
485.1	965.3
495	985
504.9	1004.7
514.8	1024.4
524.7	1044.1
534.6	1063.8
544.5	1083.5
554.4	1103.3
564.3	1123
574.2	1142.7
584.1	1162.4
594	1182.1
603.9	1201.8
613.8	1221.5
623.7	1241.2
633.6	1260.9
643.5	1280.6
653.4	1300.3
663.3	1320
673.2	1339.7
683.1	1359.4
693	1379.1
702.9	1398.8
712.8	1418.5
722.7	1438.2
732.6	1457.9
742.5	1477.6

$V_{OUT}$ Sensor (mV)	$V_{OUT}$ Op-Amp (mV)
752.4	1497.3
762.3	1517
772.2	1536.7
782.1	1556.4
792	1576.1
801.9	1595.8
811.8	1615.5
821.7	1635.2
831.6	1654.9
841.5	1674.6
851.4	1694.3
861.3	1714
871.2	1733.7
881.1	1753.4
891	1773.1
900.9	1792.8
910.8	1812.5
920.7	1832.2
930.6	1851.9
940.5	1871.6
950.4	1891.3
960.3	1910.3
970.2	1930.3
980.1	1950.4
990	1970.1
999.9	1989.8
1009.8	2009.5
1019.7	2029.2
1029.6	2048.9
1039.5	2068.6
1049.4	2088.3
1059.3	2108

## B. Pengujian ADC 0809

Rangkaian ADC 0809 menggunakan metoda berurutan (*Successive Approximation Register*) yang proses konversinya secara berurutan. Adapun output dari sensor dihubungkan ke kaki 26 ADC. Kaki 12 pada ADC ini menunjukkan tegangan referensi ( $V_{ref}$ ) merupakan tegangan masukan maksimum yaitu tegangan yang menghasilkan keluaran digital FFH. Pada rangkaian ini kaki 12 dipakai berarti harga dari  $V_{ref}$  sama dengan VCC (+5V). ini memberikan jangkauan konversi pada masukan analog dari 0 volt sampai dengan +5 volt. Dengan membagi nilai  $V_{ref}$  dengan keluaran digital maksimum 8 bit yaitu FFH maka

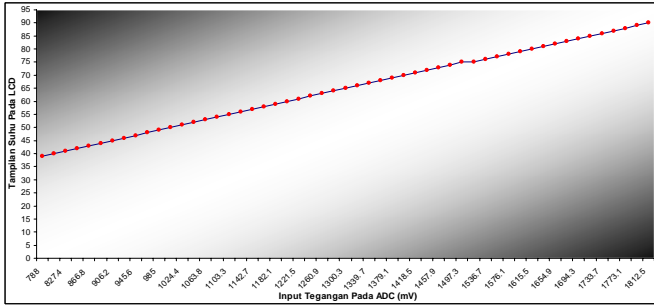
dari persamaan 1 didapat hasil konversi ADC sebagai berikut :

$$ADC = \frac{V_{in}}{r} \dots\dots\dots(1)$$

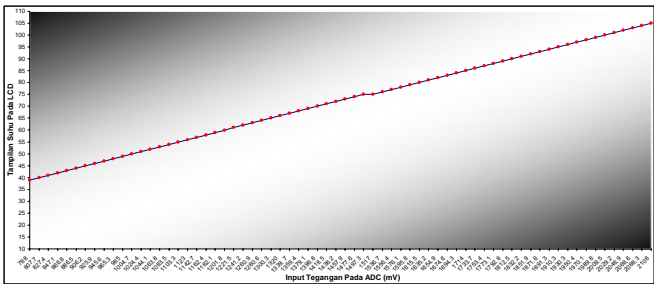
Dimana : ADC adalah hasil konversi  
 Vin adalah tegangan masukan ADC dan,  
 r adalah resolusi

Jika input analog diberi 0,1 volt maka dengan persamaan 4.1 didapat keluaran binernya = 0000 0101 (0,1 volt/0,02 volt = 5 maka binernya = 0000 0101).

Adapun hasil penerjemahan suhu berdasarkan input ADC pada LCD ditunjukkan oleh gambar 20 dan 21.



Gambar 20. Grafik Suhu Berdasarkan Input Tegangan ADC Saat Seting Kelas Isolator Y



Gambar 21. Grafik Suhu Berdasarkan Input Tegangan ADC Saat Seting Kelas Isolator A

Tabel 2. Konversi Data ADC ke Suhu

Hasil ADC	Suhu (°C)	Pembulatan Suhu (°C)
28	39.216	39
29	40.1964	40
2A	41.1768	41
2B	42.1572	42
2C	43.1376	43
2D	44.118	44
2E	45.0984	45
2F	46.0788	46
30	47.0592	47
31	48.0396	48
32	49.02	49
33	50.0004	50
34	50.9808	51
35	51.9612	52

Hasil ADC	Suhu (°C)	Pembulatan Suhu (°C)
36	52.9416	53
37	53.922	54
38	54.9024	55
39	55.8828	56
3A	56.8632	57
3B	57.8436	58
3C	58.824	59
3D	59.8044	60
3E	60.7848	61
3F	61.7652	62
40	62.7456	63
41	63.726	64
42	64.7064	65
43	65.6868	66
44	66.6672	67
45	67.6476	68
46	68.628	69
47	69.6084	70
48	70.5888	71
49	71.5692	72
4A	72.5496	73
4B	73.53	74
4C	74.5104	75
4D	75.4908	75
4E	76.4712	76
4F	77.4516	77
50	78.432	78
51	79.4124	79
52	80.3928	80
53	81.3732	81
54	82.3536	82
55	83.334	83
56	84.3144	84
57	85.2948	85
58	86.2752	86
59	87.2556	87
5A	88.236	88
5B	89.2164	89
5C	90.1968	90
5D	91.1772	91
5E	92.1576	92
5F	93.138	93

Hasil ADC	Suhu (°C)	Pembulatan Suhu (°C)
60	94.1184	94
61	95.0988	95
62	96.0792	96
63	97.0596	97
64	98.04	98
65	99.0204	99
66	100.0008	100
67	100.9812	101
68	101.9616	102
69	102.942	103
6A	103.9224	104
6B	104.9028	105

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, pembuatan, pembahasan dan pengujian alat yang telah dilakukan dapat penulis simpulkan bahwa :

1. Pada percobaan rangkaian sensor temperatur, respon tegangan penguat terhadap keluaran *analog to digital converter* (ADC) berkisar 0.02V tiap kenaikan data biner pada *analog to digital coverter* (ADC) atau data suhu pada LCD .
2. Sistem yang dibuat adalah pencegahan atau pengamanan terjadinya panas berlebih (*overheat*) pada motor induksi 1 phasa yang dapat mengakibatkan motor bisa terbakar/rusak.

Adapun saran penulis bagi pembaca yang ingin mengembangkan perancangan alat rele proteksi motor terhadap panas berlebih ini agar mencapai sesuatu yang lebih baik :

1. Untuk pengembangan lebih lanjut alat rele proteksi motor terhadap panas berlebih ini dapat dikembangkan, yaitu agar kemampuan sensor untuk mendeteksi suhu berdasarkan kelas isolator bisa lebih besar dari yang ada dengan cara menggunakan sensor suhu yang kemampuan ukurnya lebih besar lagi, sehingga dapat mendeteksi panas pada motor yang lebih besar lagi.
2. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam menggunakan ADC harus benar – benar memperhitungkan  $V_{ref}$  dari ADC tersebut, agar hasil yang didapt sesuai dengan yang diinginkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agfianto Eko Putra., *Belajar Mikrokontroller AT89C51/52/55 (Teori dan Aplikasi) Edisi 2*, Penerbit Gava Media, Yogyakarta, 2004.
- [2] Paulus Andi Nalwan., *Teknik Antar Muka dan Pemrograman Mikrokontroller AT89C51*, Penerbit PT. Elex Media Komputindo Gramedia, Jakarta, 2003.

- [3] Permata Endi ST., *Handout Kuliah Mikrokontroler ATMEL AT89C51*, Cilegon, 2006.
- [4] Soelaiman Prof.,Ts.,M<sub>HD</sub>, Magrisawa Mabuchi, *Mesin Tak Serempak Dalam Praktek*, Penerbit PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1984.
- [5] Wijaya Mochtar ST., *Dasar – Dasar Mesin Listrik*, Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001.



# Potensi Hybrid Energy di Kabupaten Bone Bolango dan Kabupaten Gorontalo

Ervan Hasan Harun<sup>1)</sup>, Jumiati Ilham<sup>2)</sup>, dan Lanto Mohamad Kamil Amali<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, email:ervanharun@ung.ac.id

<sup>2)</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, email:jumiatiilham@ung.ac.id

<sup>3)</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, email: kamilamali\_gtlo@yahoo.co.id

**Abstract** - This study aims to determine the potential of hybrid renewable energy (micro hydro energy, solar energy and wind energy) as an alternative energy source in the district of Bolango Bone and Gorontalo. This research method starts from a basic collection of reference materials as well as technical and non-technical data, which is followed by observations methods to obtain data on the profile of the hamlet / village location of hybrid renewable energy potential.

The result showed that: 1) Electrical energy can be generated by the PLT-Hybrid Energy Tapadaa village of 643.59 kWh per day, Tulabolo village of 1553.69 kWh per day, the village Liyodu 3555.46 kWh per day, and the village South Dulamayo 3322.6 kWh per day. 2). Hybrid potential energy available is quite large but it has not been used optimally. With the current energy needs for Tapada'a village, village Tulabolo, Liyodu village, and the village of South Dulamayo then there are the energy reserves: 605.76 kWh per day for the Tapada'a, 1366.25 kWh per day for the Tulabolo, 3465,88 kWh per day for Liyodu , and 3190,8 kWh per day for the South of Dulamayo.

**Keywords:** potential, hybrid energy, hydro energy, solar energy, wind energy.

## I. PENDAHULUAN

Problem energi listrik umumnya di Indonesia saat ini cukup rumit, hal ini ditandai dengan seringnya dilakukan pemadaman bergilir seperti halnya di Provinsi Gorontalo, sehingga untuk beberapa tahun kedepan supply energi listrik ke pedesaan tidak bisa diharapkan, sehingga diperlukan usaha-usaha untuk mencari sumber alternative lain dengan tetap mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi dan lingkungan.

Gorontalo sebagai propinsi pemekaran dari Sulawesi Utara saat ini terdiri dari 5 (lima) kabupaten dan 1 (satu) kota yaitu Kabupaten Pohuwato, Kabupaten Boalemo, KabupatenGorontalo, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Gorontalo Utara dan Kota Gorontalo. Sampai dengan tahun 2012 rasio elektrifikasi di propinsi Gorontalo sebesar 64,35%, [1]. Potensi energi primer yang tersedia di Gorontalo untuk membangkitkanenergi listrik cukup besar dan mempunyai peluang untuk dikembangkanbaik itu tenaga air maupun tenaga panas bumi[2]. Khusus untuk potensi daya air di Gorontalo yang belum termanfaatkan untuk kebutuhan energi listrik berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh [5] sebesar 31,61 MW, begitu juga penelitian yang dilakukan oleh [6] memberikan kesimpulan bahwa potensi energi yang berasal dari sumber daya air cukup besar.

Sesuai dengan sasaran kebijakan energi nasional yakni: terwujudnya energi (primer) mix yang optimal pada tahun

2025, yaitu peranan masing-masing jenis energi terhadap konsumsi energi nasional: 1) minyak bumi menjadi kurang dari 20%; 2) gas bumi menjadi lebih dari 30%; 3) batubara menjadi lebih dari 33%; 4) biofuel menjadi lebih dari 5%; 5) panas bumi menjadi lebih dari 5%; 6) energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya, Biomasa, Nuklir, Tenaga Air Skala Kecil, Tenaga Surya, dan Tenaga Angin menjadi lebih dari 5%; 7) Bahan Bakar Lain yang berasal dari pencairan batubara menjadi lebih dari 2%[3].

Bauran Energi Nasional sampai dengan tahun 2050 menunjukkan bahwa peranan dari Energi Baru dan Terbarukan (EBT) pada tahun 2010 sebesar 5% kemudian di tahun 2012 menjadi 5,6% dan diharapkan pada tahun 2050 menjadi 31%[4].

Salah satu usaha dalam mengatasi persoalan energi listrik adalah melalui pemanfaatan pembangkit listrik tenaga hybrid yang merupakan kombinasi dua atau lebih sistem pembangkit tenaga listrik. Berdasarkan pemaparan di atas, maka akan dilakukan pemetaan potensi dan pemanfaatan hybrid energi yang merupakan gabungan dari energi hidro, surya, dan energi angin di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Hybrid Energi Terbarukan

Sumber energy mikrohidro, energi surya dan angin merupakan sumber energi terbarukan yang cukup populer yang bersih dan tersedia secara bebas (free). Masalah utama dari ketiga jenis energi tersebut adalah tidak tersedia terus menerus. Energi mikrohidro hanya tersedia pada lokasi dengan kontur tanah yang mempunyai aliran dan ketinggian tertentu serta tergantung musim, Energi surya hanya tersedia pada siang hari ketika cuaca cerah, sedangkan energi angin tersedia pada waktu yang seringkali tidak dapat diprediksi (sporadic) dan sangat berfluktuasi bergantung cuaca atau musim.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, teknik hybrid banyak digunakan untuk menggabungkan beberapa jenis pembangkit listrik. Penelitian tentang pemanfaatan potensi hybrid energi sudah pernah dilakukan oleh [7], yakni meneliti tentang potensi Hybrid Energi yang merupakan kombinasi antara sel surya dengan turbin angin savious. Dari hasil penelitian menggunakan sistem akuisisi data diperoleh bahwa energi terbangkitkan dari pembangkit Hybrid ini sebesar 7,5 Watt. Menurut [8], bahwa Energi hybrid dengan potensi panas matahari dan angin potensial dikembangkan di Indonesia.

Penelitian yang serupa juga sudah pernah dilakukan oleh [9] yang meneliti tentang Pengembangan Teknologi Energi

Terbarukan berdasarkan sumber daya lokal di Propinsi Riau. Dalam penelitian ini, dipeoleh bahwa hampir semua desa yang belum teraliri listrik memiliki potensi energi terbarukan dan memungkinkan untuk diterapkannya penggabungan dari beberapa sumber energi ke dalam satu sistem pembangkit listrik Hybrid Energi.

## 2.2. Potensi Energi Mikrohidro

Pada dasarnya sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro memerlukan dua data yang penting yaitu debit air dan ketinggian jatuh (Head) untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Bentang alam yang terjadi (lebar, aliran sungai, kontur tanah dan sungai) akan menentukan besar potensi energi listrik yang ada di daerah tersebut. Persamaan dasar dari pembangkit listrik mikrohidro ini adalah [10] :

$$P_{netto} = 9.8 \times H_{gross} \times Q \times \eta_{tot} \text{ kW} \quad (1)$$

## 2.3. Potensi Energi Surya

Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik melalui peralatan konversi energi yakni sel surya. Dalam keadaan cuaca yang cerah, sebuah sel surya akan menghasilkan tegangan konstan sebesar 0.5 V sampai 0.7 V dengan arus sekitar 20 mA dan jumlah energi yang diterima akan mencapai optimal jika posisi sel surya 90° (tegak lurus) terhadap sinar matahari selain itu juga bergantung dari konstruksi sel surya itu sendiri. Untuk menentukan besarnya potensi energi surya suatu lokasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [11]:

$$P_{LVP} = Area \text{ Array} \times PSI \times \eta_{PV} \quad (2)$$

Sedangkan Area array (PV Area) diperhitungkan dengan menggunakan persamaan :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_k}{G_{sur} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{sur}} \quad (3)$$

## 2.4. Potensi Energi Angin

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin, untuk besarnya potensi energy angin dapat digunakan persamaan berikut[12]:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \quad (4)$$

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah,

$$P = \frac{16}{27} \times \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \quad (5)$$

Angka 16/27 (=59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horisontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung sudu, efisiensi aerodinamik dari rotor,  $\eta_{rotor}$  ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk sudu yang dirancang dengan sangat baik [12].

Menurut Brown, C.K. and Warne (1975) dalam [13] daya efektif dari angin yang mungkin dihasilkan oleh suatu kincir angin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{SA} = \frac{1}{2} \cdot c_p \cdot \rho \cdot D^3 \cdot v^3 \text{ Watt} \quad (6)$$

Selanjutnya Energi Listrik yang dapat dihasilkan oleh konversi energi angin per satuan luas sudu kincir angin dihitung dengan persamaan sebagai berikut [13]:

$$P_{Listrik}/A = c_p \cdot \eta_{tr} \cdot \eta_g \cdot \eta_a \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \text{ Watt/m}^2 \quad (7)$$

## III. METODE PENELITIAN

### 3.1. Pengambilan Data

#### 3.1.1. Hidrologi

Pengukuran hidrologi dilaksanakan pada musim kemarau dan musim penghujan. Pengukuran hidrologi meliputi pengukuran tinggi jatuh (Head) dan debit air. Dimana pengukuran tinggi jatuh (Head) dilakukan dengan menggunakan Theodolite. Sedangkan pengukuran debit air dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut :

- Pengukuran Menggunakan current meter
- Pengukuran dengan Pelampung (Float Area Methode)
- Pengukuran Debit Air dengan Metode Rasional

#### 3.1.2. Intensitas radiasi matahari

Pengukuran intensitas radiasi matahari diperoleh dengan menggunakan alat ukur actinograph dengan waktu pengukuran dimulai dari jam 06:00 s/d 18:00.

#### 3.1.3. Kecepatan angin

Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer dengan waktu pengukuran dimulai dari jam 06:00 s/d 18:00

#### 3.1.4. Sosio Ekonomi Masyarakat

Data diperoleh melalui pengumpulan data sekunder maupun data primer menggunakan lembar observasi dan wawancara pada penduduk lokal di lokasi potensi. Data tersebut meliputi:

- Profil dusun/desa
- Tingkat standar hidup dan sumber pendapatan masyarakat.
- Profil usaha dan sumber-sumber ekonomi produktif berbasis sumber daya lokal.
- Kecepatan akses, kemampuan mengusahakan akses kepada pasar.
- Kapasitas lokal dan kemampuan berkembang dengan pemanfaatan potensi sumber daya lokal.
- Kondisi dan profil infrastruktur pelayanan publik yang ada

### 3.2. Lokasi Pengambilan data

Lokasi pengambilan data pada penelitian ini adalah tempat yang memiliki potensi sumber energi alternatif yang terdiri atas tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin yang memungkinkan dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Energi, di kabupaten Bone Bolango dan kabupaten Gorontalo.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Potensi Energi

Hasil pengukuran karakteristik debit air, intensitas radiasi matahari, dan kecepatan angin yang dilakukan sebanyak 5 (lima) kali di 2 (dua) lokasi pada setiap kabupaten diberikan pada Tabel Is/d Tabel IV.

TABEL I

Potensi Hidro, Surya, dan Angin desa Tapadaa

Data	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kec. Angin (knot)
1	0,19	360,32	1,92
2	0,23	318,48	1,46
3	0,12	342,24	2,15
4	0,25	387,08	1,31
5	0,13	436,56	1,54
<b>Rerata</b>	<b>0,19</b>	<b>368,94</b>	<b>1,68</b>

TABEL II

Potensi Hidro, Surya, dan Angin desa Tulabolo

Data	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kec. Angin (knot)
1	0,46	366,16	1,69
2	0,68	333,56	1,62
3	1,17	359,52	0,77
4	0,98	322,88	1,15
5	1,04	328,92	0,46
<b>Rerata</b>	<b>0,86</b>	<b>342,21</b>	<b>1,14</b>

TABEL III

Potensi Hidro, Surya, dan Angin desa Liyodu

Data	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kec. Angin (knot)
1	1,1	461,72	2,08
2	0,74	459,12	0,69
3	0,94	331,16	1,23
4	0,83	368,12	1,54
5	0,82	383,88	1,69
<b>Rerata</b>	<b>0,89</b>	<b>400,80</b>	<b>1,45</b>

TABEL IV

Potensi Hidro, Surya, dan Angin desa Dulamayo Selatan

Data	Debit (m <sup>3</sup> /s)	Intensitas Radiasi (W/m <sup>2</sup> )	Kec. Angin (knot)
1	3,63	270,68	1,62
2	2,46	347,76	1,62
3	2,04	405,48	1,00
4	1,43	411,72	1,00
5	2,78	318,88	0,92
<b>Rerata</b>	<b>2,47</b>	<b>350,90</b>	<b>1,23</b>

#### 4.2. Beban listrik berdasarkan sosio ekonomi masyarakat.

Berdasarkan data kependudukan dan fasilitas umum yang ada, dan dengan menggunakan asumsi setiap rumah rata-rata membutuhkan energi listrik 200 VA, bangunan sekolah 450 VA, bangunan Puskesmas 900 VA, dan mesjid 200 VA maka dapat dibuat estimasi kebutuhan energi listrik untuk setiap lokasi diberikan pada tabel V s/d VIII sebagai berikut:

TABEL V

Kebutuhan Energi Desa Tapadaa

Jenis Fasilitas	Jumlah	Kebutuhan Energi Listrik	Jumlah
	(unit)	(VA)	(VA)
Rumah	31	200	6200
SD	1	450	450
PUSKESDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
<b>Total Kebutuhan Listrik</b>			<b>7750</b>

TABEL VI

Kebutuhan Energi Desa Tulabolo

Jenis Fasilitas	Jumlah	Kebutuhan Energi	Jumlah
	(unit)	(VA)	(VA)
Rumah	180	200	36000
SD	1	450	450
SMP	1	450	450
PUSKESMAS	1	900	900
Mesjid	3	200	600
<b>Total Kebutuhan Listrik</b>			<b>38400</b>

Tabel VII.

Kebutuhan Energi Desa Liyodu

Jenis Fasilitas	Jumlah	Kebutuhan Energi	Jumlah
	(unit)	(VA)	(VA)
Rumah	84	200	16800
SD	1	450	450
PUSKESDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
<b>Total Kebutuhan Listrik</b>			<b>18350</b>

Tabel VIII

Kebutuhan Energi Desa Dulamayo Selatan

Jenis Fasilitas	Jumlah	Kebutuhan Energi	Jumlah
	(unit)	(VA)	(VA)
Rumah	125	200	25000
SD	1	450	450
SLTP	1	450	450
POLIDES	1	900	900
Mesjid	1	200	200
<b>Total Kebutuhan Listrik</b>			<b>27000</b>

#### 4.3. Energi Listrik yang dihasilkan oleh setiap komponen Hybrid Energi.

##### 1. Hidro Energi

Berdasarkan data tinggi jatuh dan debit air seperti yang diberikan pada tabel dan efisiensi dari setiap peralatan yang digunakan dapat dihitung energi listrik yang akan dihasilkan dari komponen hydro energi sebagai berikut:

TABEL IX

Energi terbangkitkan dari PLTMH

Lokasi	Output Generator		Energi dibangkitkan selama 24 jam
	kVA	kW	kWh
<b>Kabupaten Bone Bolango</b>			
Tapada'a	29,57	23,65	567,67
Tulabolo	61,95	49,56	1189,38
<b>Kabupaten Gorontalo</b>			
Liyodu	176,31	141,05	3385,13
Dulamayo Selatan	157,12	125,70	3016,78

##### 2. Energi Surya

Energi listrik yang dihasilkan dari komponen surya (PLTS) dihitung menggunakan data intensitas radiasi

matahari terendah. Selain itu estimasi dari kebutuhan listrik juga digunakan dalam merancang sistem PLTS yang akan digunakan.

TABEL X  
Energi terbangkitkan dari PLTS

Lokasi	Energy Demand	PV Area	Watt-Peak	Energi dibangkitkan
	(kWh)	m <sup>2</sup>	(kW-p)	
<b>Kabupaten Bone Bolango</b>				
Tapada'a	17,34	43,99	6,77	74,43
Tulabolo	85,91	215,01	33,07	363,75
<b>Kabupaten Bone Bolango</b>				
Liyodu	41,06	100,18	15,41	169,48
Dulamayo Selatan	60,41	180,33	27,74	305,09

### 3. Energi Angin.

Berdasarkan pengukuran kecepatan angin yang dilakukan selama 5 (lima) hari desain diameter sudu dari kincir angin yang digunakan adalah 7 meter, maka energy yang dapat dibangkitkan dari PLT-Angin adalah sebagai berikut:

TABEL XI  
Energi terbangkitkan dari PLT-Angin

Lokasi	Energy Demand		P syst
	(kWh)	(Watt)	(kWh)
<b>Kabupaten Bone Bolango</b>			
Tapada'a	14,19	166,40	1,50
Tulabolo	70,29	70,01	0,56
<b>Kabupaten Gorontalo</b>			
Liyodu	33,59	94,03	0,85
Dulamayo Selatan	54,92	73,28	0,73

### 4.4. Potensi Energi Listrik dari Hybrid Energi

Dari hasil analisis potensi energi listrik yang dihasilkan oleh setiap komponen PLT – Hybrid Energi dapat dibuat tabel yang menunjukkan total potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLT – Hybrid Energi di setiap lokasi baik di kabupaten Bone Bolango maupun di kabupaten Gorontalo. Hasil selengkapnya diberikan dalam tabel sebagai berikut:

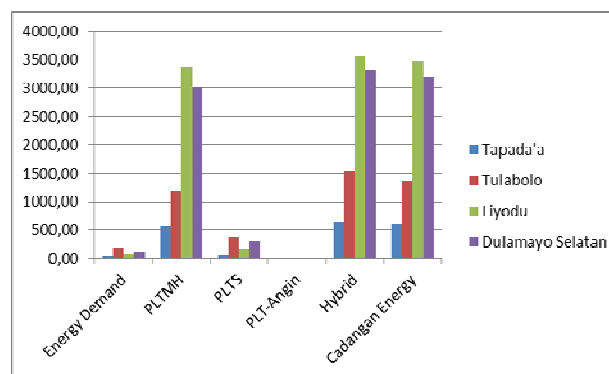
TABEL XII  
Potensi Energi Listrik yang dibangkitkan oleh PLT- Hybrid Energi

Lokasi	Energy Demand	Energi dibangkitkan tiap komponen				Total Energi
		PLTMH	PLTS	PLT-Angin		
		24 Jam	24 jam	11 jam	9 s/d 10 jam	
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	
<b>Kabupaten Bone Bolango</b>						
Tapada'a	37,83	567,67	74,43	1,50	643,59	
Tulabolo	187,45	1189,38	363,75	0,56	1553,69	
<b>Kabupaten Gorontalo</b>						
Liyodu	89,58	3385,13	169,48	0,85	3555,46	
Dulamayo Selatan	131,80	3016,78	305,09	0,73	3322,60	

Dari tabel XII terlihat bahwa kebutuhan energi harian untuk setiap lokasi Hybrid Energi dapat dipenuhi oleh energi yang dibangkitkan komponen PLTMH, dan jika PLTMH tidak dapat beroperasi sama sekali, maka kebutuhan energi masih dapat diatasi oleh komponen PLTS. Kontribusi dari PLT-Angin pada PLT-Hybrid Energi ini

sangat kecil, karena potensi energi angin di lokasi PLT-Hybrid Energy memang sangat kecil. Dari hasil pengukuran, rata-rata kecepatan angin di setiap lokasi kurang dari 2 knot yakni hanya berkisar antara 1,14 s/d 1,68 knot. Oleh karena itu, jika komponen PLTMH dan PLTS tidak dapat berfungsi sama sekali maka PLT-Angin tidak dapat diandalkan dalam melayani kebutuhan energi harian konsumen.

Disisi lain, terlihat bahwa di semua lokasi PLT-Hybrid Energy terdapat cadangan energi yang berkisar antara 605,76 kWh s/d 3465,88 kWh setiap hari, seperti ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 1. Energy Demand vs Cadangan Energy

Cadangan energy yang cukup besar ini dapat terjadi karena di setiap lokasi PLT-Hybrid Energi, komponen energi yang bersumber dari PLTMH sangat besar, dibandingkan dengan potensi surya maupun potensi angin, sedangkan kebutuhan energi (*energy dmand*) di setiap lokasi berdasarkan kondisi sosio ekonomi masyarakat sangat kecil.

Kelebihan pembangkitan energi (cadangan energi) ini tentunya sangat menguntungkan jika energi yang dibangkitkan dapat dimanfaatkan secara maksimal, misalnya dialirkan ke desa-desa tetangga atau dijual ke PLN.

## V. KESIMPULAN

1. Energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh PLT-Hybrid Energi yakni desa Tapadaa sebesar 643,59 kWh per hari, desa Tulabolo sebesar 1553,69 kWh per hari, desa Liyodu 3555,46 kWh per hari, dan desa Dulamayo Selatan 3322,6 kWh per hari
2. Potensi Hybrid Energi tersedia cukup besar tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Dengan kebutuhan energi yang ada untuk desa Tapada'a, desa Tulabolo, desa Liyodu, dan desa Dulamayo Selatan maka terdapat cadangan energi yakni: 605,76 kWh per hari untuk desa Tapada'a, 1366,25 kWh per hari untuk desa Tulabolo, 3465,88 kWh per hari untuk desa Liyodu, dan 3190,8 kWh per hari untuk desa Dulamayo Selatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (Persero). 2013. "Statistik PLN 2012". Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero). Jakarta.
- [2] PT. PLN (Persero), 2010., "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2010 – 2019.
- [3] Peperes RI No 5 tahun 2006., Kebijakan Energi Nasional

- [4] Tumiran., Prof., Dr, 2014. Paradigma Baru Kebijakan Energi Nasional Menuju Ketahanan Dan Kemandirian Energi. Dewan Energi Nasional.
- [5] Harun, Ervan & Salim, Sardi. 2009, dkk “Pengembangan Sumber Daya air Untuk Peningkatan Ketenagalistrikan di Wilayah Propinsi Gorontalo”. Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- [6] Matoka, Arifin,dkk. 2009. “ Kajian Potensi Energi Listrik Mikrohidro Pada Saluran Irigasi Provinsi Gorontalo menunjang Elektrifikasi Pertanian”. Penelitian Hibah Strategis Nasional DIKTI. Universitas Negeri Gorontalo. Gorontalo.
- [7] Winarto, Eko Wismo., 2013., Potensi Pembangkitan Listrik Hybrid menggunakan Vertical Axis Wind Turbine tipe Savonius dan Panel Surya., Jurnal Tenologi Volume 6 No 2 Desember 2013.
- [8] Olivia Lewi Pramesti, 2012., “Energi Hibrid Potensial Dikembangkan di Indonesia”, <http://nationalgeographic.co.id/berita/2012/04/energi-hibrid-potensial-dikembangkan-di-indonesia>
- [9] Tengku Dahril, Prof.,Dr., 2012. “Penelitian dan Pengembangan Teknologi Energi Terbarukan berdasarkan sumber daya lokal di Prpinsi Riau”Disampaikan pada Annual Forum Energy and Enviromental Partnership, Pekanbaru 30 – 31 Oktober 2012
- [10]Harvey.2003. “Manual Desing Mycrohydro Report on Standarisation of Civil Works for Small Microhydro Power Plant”. UNINDO.
- [11]Manan Saiful.2010., Energi Matahari sumber energi alternatif yang efisien, handal, dan ramah lingkungan di indonesia., Laporan Penelitian Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.Semarang
- [12]Arif Afifudiin, *dkk.*, 2010., “Studi Ekperimental Performansi Vertical Axis Wind Turbin (VAWT) dengan Variasi Desain Turbin”. Teknik Fisika., ITS.
- [13]Sam, Alimuddin & Patabang, Daud. 2005. “Studi Potensi Energi Angin Di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik” Jurnal SMARTEK, Volume 3 No. 1 Pebruari 2005.

# Perancangan Voltage Control Oscillator untuk Tower Set pada Frekuensi 118 MHz – 137 MHz

Feti Fatonah

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang

David Octa Rengga

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang

**Abstract**—Pada penelitian ini dibahas tentang perancangan osilator menggunakan jenis voltage control oscillator(VCO). Jika dibandingkan dengan tipe osilator yang lain seperti oscillator cristal atau oscillator trimer kapasitor, VCO dapat digunakan secara mudah karena dapat mengubah frekuensi sesuai kebutuhan dengan input tegangan yang diberikan pada resonator. VCO ini dirancang sebagai oscillator pada peralatan komunikasi penerbangan yaitu *Tower Set* dengan rentang frekuensi 118 MHz-137 MHz. VCO yang dirancang bekerja pada frekuensi 118 MHz-137 MHz. Pada perancangan VCO digunakan transistor jenis BJT MMBR571L *low noise* dengan bias sebesar  $V_{cc} = 6\text{ V}$ ,  $V_{ce} = 5\text{ V}$ , dan  $I_c = 30\text{ mA}$ . VCO tersebut disimulasikan dengan menggunakan software ADS. Pada simulasi ini didapatkan hasil rentang derau frekuensi -199,360 dB - 198,056 dB pada rentang frekuensi 120 MHz – 135 MHz. Nilai fundamental sebesar 28.486 dBm dan power harmonic -15,579 dBm.

**Kata Kunci**— VCO, Tower Set, Power Fundamental, Power Harmonic.

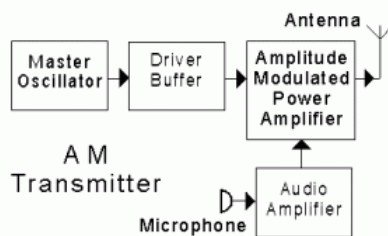
## I. PENDAHULUAN

Tower set merupakan alat komunikasi yang digunakan pada Proses komunikasi pada dunia penerbangan. Bentuk output alat ini berupa voice. Alat ini digunakan seorang ATC untuk melakukan percakapan kepada pilot (*ground to air*).

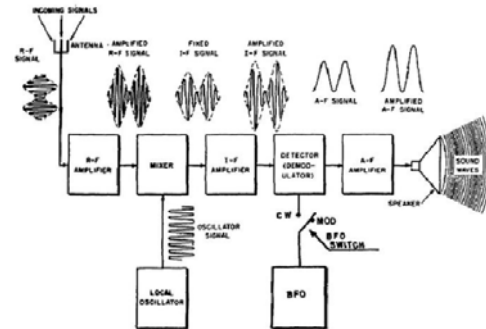
Tower Set peralatan ini terdiri dari :

1. Pemancar (Transmitter) AM: untuk memancarkan Audio (suara) dari Controller (ADC) ke udara agar dapat diterima oleh Pilot
2. Penerima (receiver) AM: Untuk menerima Audio (Suara) yang dipancarkan oleh pilot agar dapat di dengar oleh Controller (ADC)

pada umumnya memiliki daya pancar sebesar 50 Watt. Adapun blok diagram secara umum dari sebuah tower set adalah:



Gambar 1. Blok Diagram Pemancar



Gambar 2. Blok Diagram Penerima

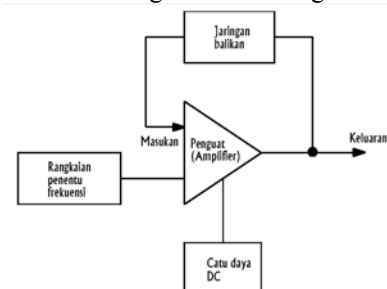
Pada tower set system komunikasi secara half duplek dan system pertukaran voice dengan menggunakan switch (push to talk). System kerja pada tower set menggunakan frekuensi VHF yang beroperasi pada 118-137 MHz. system pemodulasian dan pada tower set menggunakan system AM pada umumnya memiliki daya pancar sebesar 50 Watt

. Pada tower set system komunikasi secara half duplek dan system pertukaran voice dengan menggunakan switch (push to talk). Untuk pemodulasian tower set membutuhkan rangkaian oscillator untuk membangkitkan frekuensi kerja. Pada penulisan ini oscillator jenis VCO.

VCO adalah suatu osilator elektronik dimana frekuensi keluarannya diatur oleh suatu tegangan input DC yang diberikan.

## II. PERANCANGAN RANGKAIAN VCO

Rangkaian vco terdiri dari 3 bagian utama yaitu rangkaian dc bias dengan transistor sebagai penguat, rangkaian resonator dan rangkaian matching.



Gambar 3. Blok Diagram Oscilator Umum

Sebelum melakukan rancangan ada beberapa spesifikasi yang akan diterapkan adapun spesifikasi ada pada tabel 1.

Spesifikasi	
Range frekuensi	118-137 MHz
Frekuensi tengah	127.5 MHz
Stability	$K < 1$
Noise figure	$< -10$
Power fundamental	$> 10\text{ dBm}$
Power Harmonik	$< 10\text{ dBm}$

VCO yang dirancang menggunakan transistor jenis bjt yaitu MMBR571L. memilih transistor bjt memiliki keunggulan diantaranya memiliki phase noise yang rendah dibandingkan dengan transistor lain dapat bekerja secara optimal dibawah 6 ghz. Penggunaan transistor jenis MMBR571L. DC bias pada rangkaian VCO menggunakan *Emitter Bias* dengan *system Voltage Divider*. Sesuai datasheet transistor memiliki  $V_{ce} = 5V$ ,  $I_c = 30\text{ mA}$ . Pada bias transistor digunakan 6 V untuk tegangan  $V_{cc}$ .

Frekuensi osilasi ditentukan oleh L, D dan C. Diode PN junction digunakan pada rangkaian ini bersifat sebagai varicap jika diberi bias mundur (reverse bias) di bawah tegangan breakdownnya. Dengan bias mundur, diode akan bersifat sebagai kapasitor dimana daerah kosong (depletion region) menjadi dielektrik. Dengan mengubah tegangan reverse yang diberikan, akan mengubah lebar depletion region sehingga efek kapasitansinya juga berubah. Akibatnya, frekuensi resonansi rangkaian juga berubah. VCO seperti ini adalah tidak stabil, sedikit perubahan pada input akan mengubah frekuensi keluarannya. Untuk itu diperlukan suatu mekanisme sedemikian rupa sehingga keluaran VCO menjadi stabil.

#### a. DC BIAS

Sebelum melakukan simulasi, perlu adanya hitungan untuk mengetahui nilai hambatan pada rangkaian. Adapun tahapannya adalah:

##### 1. Target biasing DC transistor

Target perancangan  $V_{ce} = 5\text{ v}$ , dan arus  $I_c = 10\text{ mA}$  dengan supply  $V_{cc} = 6\text{ V}$ . pada datasheet nilai  $\beta$  adalah 50 – 300. Pada hal ini digunakan  $\beta = 100$ .

##### 2. Menentukan nilai $R_{B1}$ dan $R_{B2}$

$$V_E = \frac{1}{10} V_{CC}$$

$$= 1/10 (6V) = 0.6V$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$= 0.7V + 0.6V$$

$$= 1.3\text{ V}$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \cong \frac{V_E}{I_C}$$

$$= 0.6V / 30\text{ mA}$$

$$= 20\ \Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C}$$

$$= \frac{6V - 5V - 0.6V}{30\text{ mA}}$$

$$= 13\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{10} \beta R_E$$

$$= 1/10 (100) (20\Omega)$$

$$= 400\ \Omega$$

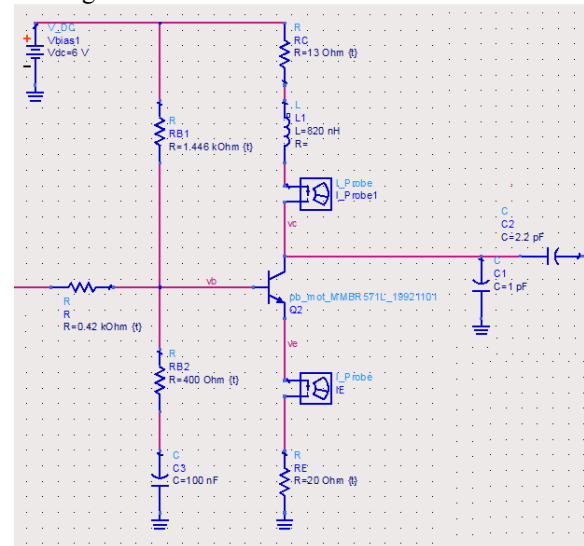
$$R_1 = \frac{V_{CC} R_2 - V_B R_2}{V_B}$$

$$= \frac{(6V) (400\Omega) - (1.3) (400\Omega)}{1.3V}$$

$$= 1446\ \Omega$$

Pada rangkaian biasing ditambahkan Resistor sebagai impedance dan kapasitor yang disusun secara parallel sebagai impedance pada output/keluaran. Pemberian

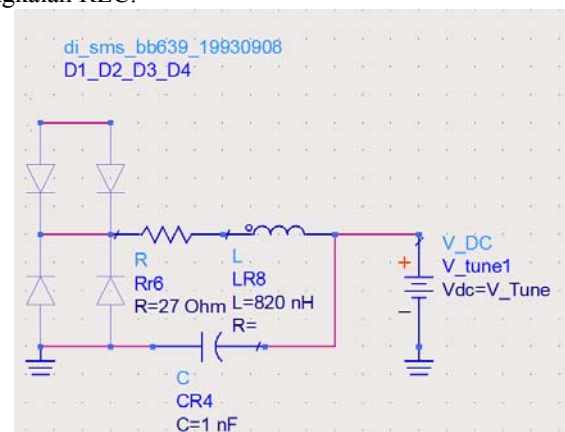
kapasitor juga diberikan untuk memperhalus keluaran pada gelombang.



Gambar 4. Rangkaian DC Biasing Transistor

#### b. Rangkaian Resonator

Pada rangkaian resonator dibutuhkan input tegangan sebagai tuning frekuensi. Dan frekuensi dihasilkan dari rangkaian RLC.

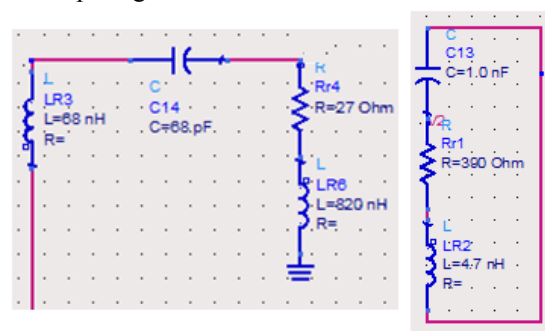


Gambar 5. Rangkaian Resonator dengan Diode dan VCO

Pada gambar diatas diode digunakan sebagai pengatur frekuensi dengan adanya pemberian tegangan. Diode berfungsi sebagai stabilizer pada rangkaian ini.

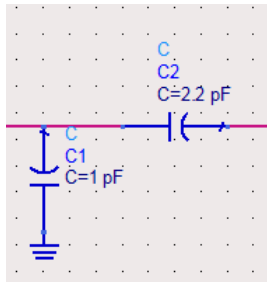
#### c. Rangkaian Matching

Rangkaian matching digunakan pada simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi terbaik. Rangkaian matching dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 6. Rangkaian Matching Pada Keluaran Resonator

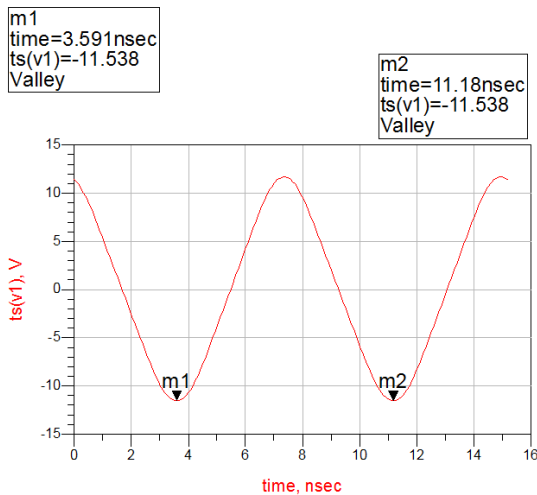
Pada gambar dibawah ini rangkaian matching digunakan untuk memperhalus bentuk output gelombang. Tanpa adanya rangkaian ini maka gelombang akan *ripple* atau tidak rata.



Gambar 7. Rangkaian Matching Pada Keluaran

III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini akan ditunjukkan hasil dari rancangan simulasi pada ads. Pada simulasi dapat dilihat bentuk gelombang yang menunjukkan bahwa VCO dapat bekerja di frekuensi 131.93 MHz.

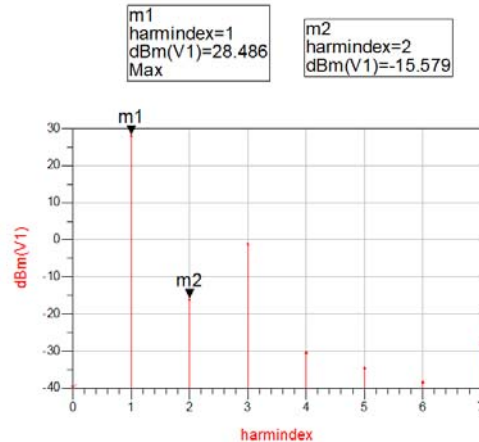


Gambar 8. Output Gelombang Oscillator 131.93 MHz

Dari gambar dapat dilihat bahwa nilai dari T sehingga dapat dilihat berapa frekuensi. Frekuensi yang didapat sebesar 131.93 MHz. Gelombang diatas muncul pada saat rangkaian dituning pada nilai input tegangan 2.1 V. Hasil simulasi kestabilan dari VCO terlihat pada tabel. Nilai yang dianjurkan untuk oscillator adalah <1.

freq	StabFact1
120.0 MHz	-1.791
121.0 MHz	-1.784
122.0 MHz	-1.778
123.0 MHz	-1.771
124.0 MHz	-1.763
125.0 MHz	-1.756
126.0 MHz	-1.748
127.0 MHz	-1.740
128.0 MHz	-1.732
129.0 MHz	-1.723
130.0 MHz	-1.715
131.0 MHz	-1.706
132.0 MHz	-1.697
133.0 MHz	-1.687
134.0 MHz	-1.678

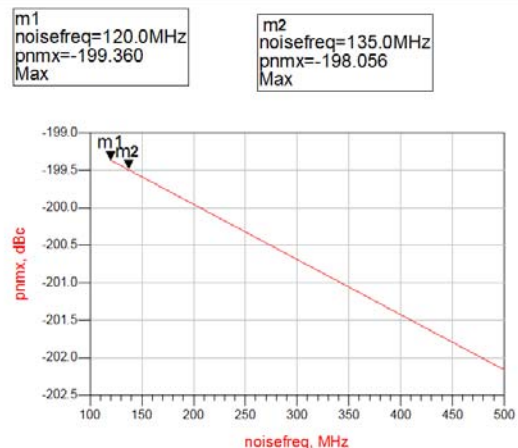
Dari tabel diatas dapat dilihat nilai StabFact yang merupakan indeks kestabilan bernilai minus, maka rangkaian ini memenuhi persyaratan untuk di rentang frekuensi 120-135 MHz. Sedangkan pada simulasi ini terdapat powe fundamental yang ditampilkan pada gambar dibawah ini.dari gambar power fundamental ditunjukkan pada marker 1(M1). Besarnya power fundamental 28,486 dBm.



Gambar 9. Nilai Power Fundamental Dan Power Harmonik

Power fundamental disyaratkan sebesar >10 dBm. Sedangkan untuk nilai power harmonik dipersyaratkan <-10 dBm, pada gambar terlihat power harmonic yang ditunjukkan oleh M2 sebesar -15,579 dBm. Sehingga baik power fundamental ataupun power harmonic memenuhi syarat untuk oscillator.

Pada simulasi noise figure (pnmx) seperti yang terlihat pada gambar besarnya nilai noise figure pada frekuensi 120 MHz adalah -186 dB dan pada frekuensi 135 sebesar -198 dB. Hal ini juga sudah memenuhi persyaratan oscillator yang dirancang yaitu mencapai dibawah -10 dB. Secara garis besar dapat nilai noise frekuensi akan semakin kecil dibarengi dengan semakin besarnya frekuensi output.



Gambar 10. Rentang Nilai Noise Figure

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan dan simulasi VCO menghasilkan rentang frekuensi 118 MHz–137 MHz. Didapatkan Phase Noise sebesar -186 dB -198 dB, power harmonic sebesar -15.579 dBm, power fundamental sebesar 28.489 dBm.
2. Dari hasil simulasi menunjukkan performa yang baik pada kerja 118-137 MHz dengan parameter masing-

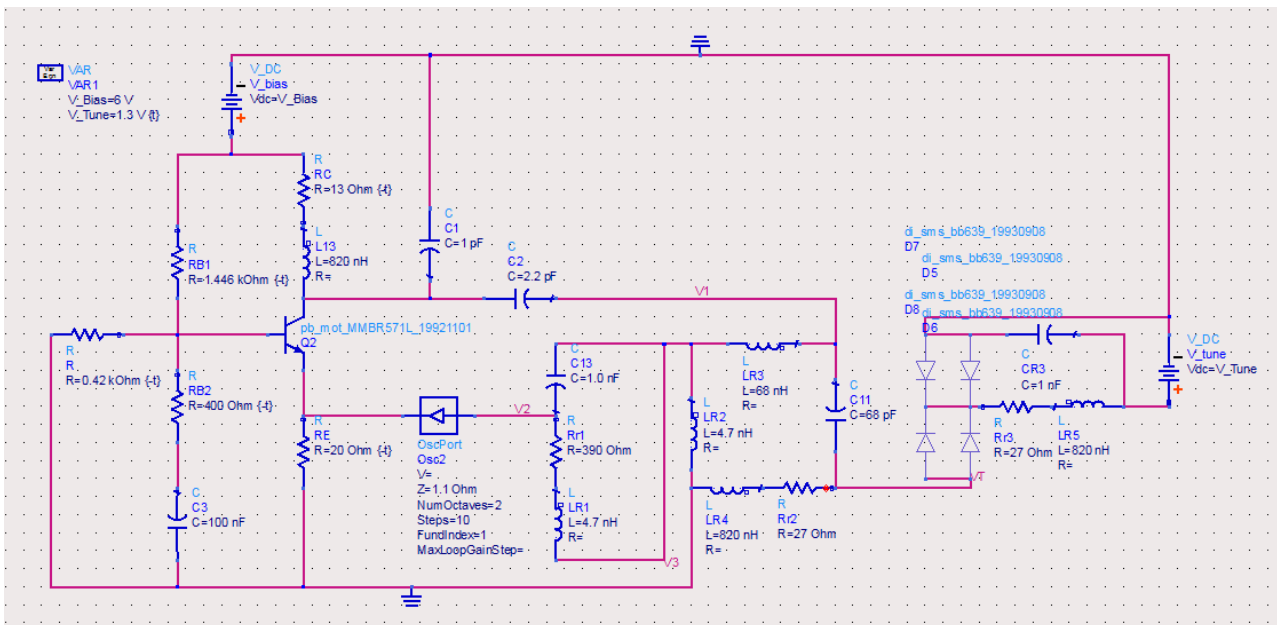


masing yang memenuhi persyaratan. Kestabilanyang lebih rendah dari 1, dan dengan noise yang rendah dibawah -10 dB. Hal ini menunjukkan transistor yang dipakai pada VCO cocok untuk digunakan sebagai oscillator.

3. Berdasarkan hasil simulasi yang telah ditampilkan, adanya optimasi pada setiap rangkaian dari literature ataupun referensi yang sudah ada.

#### REFERENCES

- [1] Wibisono, Ir. Gunawan, M.Sc; Ph.D1, Wildan, Muh. *Co-Design Dual Band Lna Dan Bandpass Filter Rf Field Detector Untuk Monitoring Ground Check Peralatan Radio Navigation Aids*. Universitas Indonesia.
- [2] Datasheet ISC Silicon NPN RF Transistor MMBR571L
- [3] Oscillator Simulations
- [4] Fabian Kung Wai Lee. *RF Oscillators*. April 2006
- [5] Rangkaian Osilator Elektronika Dasar. Universitas Indonesia
- [6] Hatta. *Tower Set Peralatan Bandara*. Maret 2011. <https://hatta16.wordpress.com/>
- [7] Edy, Akhmad. *Voltage Control Oscillator (VCO)*. Telkompoltek Malang. Juni 2011
- [8] Daniel Simanjuntak1; Gunawan Wibisono2; Taufiq Alif Kurniawan 3; Teguh Firmansyah4 “Quadband Bandpass filter dengan komponen lumped”
- [9] J. Millman, C. C. Halkias, “Integrated electronics”, 1972, McGraw-Hill.
- [10] R. Ludwig, P. Bretchko, “RF circuit design - theory and applications”, 2000 Prentice-Hall.
- [11] B. Razavi, “RF microelectronics”, 1998 Prentice-Hall, TK6560.
- [12] J. R. Smith, “Modern communication circuits”, 1998 McGraw-Hill.
- [13] P. H. Young, “Electronics communication techniques”, 5<sup>th</sup> edition, 2004 Prentice-Hall.
- [14] [Gilmore R., Besser L., “Practical RF circuit design for modern wireless systems”, Vol. 1 & 2, 2003, Artech House.
- [15] [11] Ogata K., “Modern control engineering”, 4<sup>th</sup> edition, 2005, Prentice-Hall.



Rangkaian Lengkap yang Disimulasikan

# ANALISA PENGARUH ARUS GANGGUAN TERHADAP TEGANGAN INDUKSI DAN ISOLASI PADA KABEL BAWAH TANAH TEGANGAN 20 KV

Herudin<sup>[1]</sup>, Andri Suherman<sup>[2]</sup>, Aris Munandar<sup>[3]</sup>,  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jendral Sudirman KM.3 Kota Cilegon

**Abstrak**—Kabel memegang peranan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik salah satunya yang digunakan adalah kabel saluran bawah tanah, Adanya arus gangguan pada kabel mempengaruhi besarnya tegangan induksi sehingga temperatur kabel menjadi lebih panas, pemanasan yang berlebih akan mengakibatkan kegagalan isolasi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kabel. Penelitian ini membahas pengaruh arus gangguan terhadap tegangan induksi dan isolasi kabel bawah tanah 20kV. Gangguan adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel data jaringan kabel bawah tanah 20kV yang digunakan di PT. KDL yang kemudian disimulasikan menggunakan software ETAP untuk menentukan arus gangguannya. Hasil perhitungan pengaruh arus gangguan terhadap tegangan induksi diperoleh nilai terbesar yaitu TS KIEC 6 yang memiliki tegangan induksi total terbesar sepanjang jalur kabel yaitu 1295,13 Volt. Hasil perhitungan pengaruh arus gangguan terhadap temperatur diperoleh nilai terbesar yaitu SS CBI 91,06°C saat beban 100%, nilai ini sudah melebihi batas maksimal ketahanan isolasi kabel 90°C yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi pada kabel.

**Kata kunci** : Arus Gangguan, Tegangan Induksi, Temperatur

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan dan pertumbuhan penduduk di daerah perkotaan khususnya daerah-daerah industri, mengakibatkan permintaan penambahan beban listrik pun meningkat. Untuk menjamin ketersediaan energi di butuhkan komponen yang handal. Transmisi dan distribusi sebagai salah satu bagian penting dari jaminan ketersediaan listrik tersebut mempunyai peran tersendiri, yaitu menjamin tersalurkannya energi listrik dari pembangkit sampai ke konsumen secara langsung. Media penghantar energi listrik tersebut ada dua macam yaitu kawat dan kabel. Kabel sendiri berdasarkan pemasangannya ada dua macam yaitu yang dipasang di bawah tanah dan dipasang di udara.

Penggunaan kabel lebih handal dibanding dengan konduktor telanjang, akan tetapi harga dan biaya

instalasinya lebih mahal. Biaya yang mahal tersebut meliputi biaya bahan dan peralatan yang digunakan, upah pekerja, dan waktu yang dibutuhkan untuk merancang dan memasang kabel. Oleh karena itu biaya yang mahal harus tergantikan dengan memungkinkan kabel tersebut menghantarkan arus sesuai dengan kapasitas maksimumnya.

Kabel yang terpasang secara sejajar dan menyalurkan arus listrik akan timbul tegangan induksi pada masing-masing kabel, besar tegangan induksi dipengaruhi oleh jarak pemisahan kabel antar fasa. Selain itu panjang kabel akan mempengaruhi seberapa besar induksi dalam sistem jaringan tenaga listrik tersebut. Adanya arus gangguan pada kabel mempengaruhi besarnya tegangan induksi sehingga temperatur kabel menjadi lebih panas, pemanasan yang berlebih akan mengakibatkan kegagalan isolasi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada kabel.

Permasalahan yang sering terjadi adalah banyaknya gangguan yang salah satunya terjadi pada PT. KDL yang dikhawatirkan apabila arus gangguan tersebut melebihi batas dari kekuatan isolasi berdasarkan panas yang dihasilkan. Penelitian ini akan membahas seberapa besar tegangan induksi kabel dan panas pada isolasi saat terjadi gangguan di PT KDL.

### 1.2 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan masukan kepada pihak terkait mengenai pengaruh gangguan yang terjadi pada saluran kabel bawah tanah terhadap tegangan induksi yang muncul, sehingga tidak membahayakan makhluk hidup dan peralatan lain di sekitarnya.

## II. TEORI DASAR

### 2.1 Definisi Kabel

Kabel adalah salah satu bagian dari sistem penyaluran listrik, dengan beragam bentuk sesuai pertimbangan teknik dan keinginan konsumen. Sistem Keterangan kabel akan terpasang, menentukan berbagai parameter pendesainan kabel. Desain kabel harus memperhatikan nilai ekonomis pembuatan, pemakaian dan pemeliharanya. Desain kabel harus memperhatikan pengaruhnya terhadap lingkungan. Kabel biasanya juga digunakan pada saluran distribusi dan saluran transmisi. Adapun kategori dari kabel yaitu :

1. Kabel bertegangan menengah(MV)6-36 kV
2. Kabel bertegangan tinggi (HV) 36-161 kV

3. Kabel bertegangan ekstra tinggi (EHV) 161-500 KV (atau lebih)

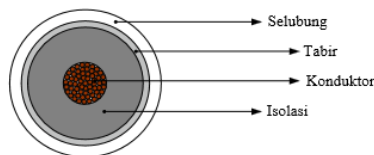
Menurut jumlah dan susunan hantarannya, kabel bawah tanah meliputi :

1. Kabel hantaran tunggal (*single core cable*)
2. Kabel tiga hantaran (*three core cable*)
3. Kabel sektoral (*sector cable*)

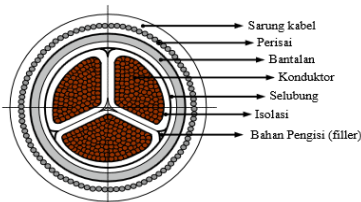
Dalam penggunaannya kabel dirancang dengan konstruksi yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhannya. Sebagai konduktor berisolasi, konstruksi kabel dibagi menjadi bagian utama dan bagian pelengkap.

1. Bagian utama kabel adalah bagian yang harus dimiliki oleh kabel tenaga, yaitu konduktor (*conductor*), isolasi (*insulation*), tabir (*screen*) dan selubung (*sheath*).
2. Bagian pelengkap kabel adalah bagian yang hanya melengkapi kabel digunakan untuk memperbaiki sifat-sifat kabel atau untuk melindungi kabel, bagian-bagian tersebut adalah bantalan (*bedding*), perisai (*armor*), bahan pengisi (*filler*) dan sarung kabel (*serving*).

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan bagian utama kabel berinti tunggal dan bagian-bagian kabel berinti tiga.



Gambar 1. Bagian Utama Kabel Inti Tunggal



Gambar 2. Bagian Utama Kabel 3 Inti

## 2.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dibagi menjadi 2 :

1. Gangguan simetris

Gangguan simetris merupakan gangguan dimana besar magnitude dari arus gangguan sama pada setiap fasa. Gangguan ini terjadi pada gangguan hubung singkat tiga fasa.

2. Gangguan tidak simetris

Kebanyakan gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik adalah gangguan tidak simetris. Pada gangguan ini magnitude dari tegangan serta arus yang mengalir pada setiap fasa berbeda. Jenis gangguan asimetris yaitu gangguan 1 fasa ke tanah, 2 fasa ke tanah dan gangguan fasa ke fasa.

## 2.3 Delta Arus

Saat sistem terjadi gangguan, ada kenaikan arus pada sistem dari arus normalnya yang disebut arus gangguan  $I_f$ . Selisih dari arus gangguan dengan arus normal disebut Delta arus  $\Delta I$  sebagai berikut:

$$\Delta I = I_f - I_n \quad (1)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \Delta I &= \text{Delta Arus (Ampere)} \\ I_f &= \text{Arus Gangguan (Ampere)} \\ I_n &= \text{Arus Normal (Ampere)} \end{aligned}$$

## 2.4 Menentukan Kerapatan Fluks Magnet

Kerapatan fluks magnet adalah jumlah total fluks yang menembus area yang tegak lurus dengan fluks tersebut dirumuskan.

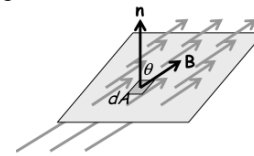
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad (2)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} B &= \text{kerapatan fluks magnet (Weber/m}^2\text{)} \\ \mu_0 &= \text{permeabilitas ruang hampa (4} \times 10^{-7}\text{)} \\ I &= \text{Arus (A)} \\ R &= \text{jarak antar kabel (m)} \end{aligned}$$

## 2.5 Fluks Magnet

Sebagaimana fluks listrik, fluks magnet juga dapat diilustrasikan sebagai banyaknya garis medan yang menembus suatu permukaan.



Gambar 3. Fluks Magnet

Fluks listrik yang dihasilkan oleh medan B pada permukaan yang luasnya dA adalah:

$$d\Phi = B \times dA \quad (3)$$

$$= B \times A \quad (4)$$

## 2.6 Menghitung Tegangan Induksi

Adanya arus listrik yang mengalir pada suatu penghantar menyebabkan adanya medan magnet disekitar penghantar tersebut. Sedangkan Fluks magnetik adalah  $\Phi = B \cdot A$ . Hubungan tersebut dapat dinyatakan menggunakan tetapan kesebandingan.

$$\Phi = L \cdot I \quad (5)$$

$L$  adalah ketapan keseimbangan antara

dan  $I$  yang dinamakan induktansi diri sistem tersebut. Karena perubahan fluks listrik dapat menimbulkan ggl, maka dapat dinyatakan.

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

Adanya pengaruh panjang kabel jaringan ( $L$ ) pada ggl induksi yakni:

$$\mathcal{E} = v \times l \quad (7)$$

Dengan :

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \text{Tegangan induksi per meter (Volt/m)} \\ \mathcal{E}l &= \text{Tegangan induksi total (Volt)} \\ \Phi &= \text{Fluks magnet (Weber)} \\ \Delta I &= \text{Delta Arus (Ampere)} \\ t &= \text{waktu (detik)} \\ l &= \text{panjang kabel (m)} \end{aligned}$$

2.7 Menghitung Resistansi

Berdasarkan hukum Ohm besar tahanan listrik terhadap luas penampangnya adalah :

$$R = \frac{\rho l}{A} \tag{8}$$

Dengan :

- R = resistansi / tahanan listrik ( $\Omega$ )
- $\rho$  = tahanan jenis penghantar ( $\Omega m$ )
- l = panjang penghantar (m)
- A = Luas penampang penghantar ( $m^2$ )

Sedangkan tahanan listrik yang timbul pada temperatur tertentu adalah :

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(T_t - T_0)] \tag{9}$$

Dengan :

- $R_t$  = tahanan yang timbul pada temperatur t ( $\Omega$ )
- $R_0$  = tahanan awal saat penghantar belum dibebani ( $\Omega$ )
- $\alpha$  = Koefisien tahanan ( $1/^\circ C$ )
- $T_c$  = temperatur maksimum konduktor ( $^\circ C$ )
- $T_0$  = temperatur awal ( $^\circ C$ )

Resistansi suatu konduktor ketika menghantarkan arus AC lebih besar dibandingkan ketika menghantarkan arus DC. Hal ini disebabkan oleh dua faktor yaitu efek kulit (*skin effect*) dan efek proksimiti (*proximity effect*). Resistansi AC per unit panjang konduktor pada suhu maksimum dapat dihitung dengan rumus :

$$R' = R' (1 + y_s + y_p) \tag{10}$$

Dengan :

- R = resistansi AC konduktor pada suhu maksimum ( $\Omega / m$ )
- $R'$  = resistansi DC konduktor pada suhu maksimum ( $\Omega / m$ )
- $y_s$  = faktor efek kulit
- $y_p$  = faktor efek proksimiti

Sedangkan resistansi DC per unit panjang pada suhu maksimum diberikan oleh :

$$R' = R_0 [1 + \alpha(T_t - T_0)] \tag{11}$$

Faktor efek kulit ditentukan dengan Persamaan :

$$y_s = \frac{x_s^2}{192 + 0,8x_s^2} \tag{12}$$

Untuk  $2,8 < x_s < 3,8$

$$y_s = -0,136 - 0,0177x_s + 0,0563x_s^2 \tag{13}$$

Untuk  $x_s > 3,8$

$$y_s = \frac{x_s}{2,72} - \frac{11}{19} \tag{14}$$

Dengan :

$$x_s^2 = \frac{60f}{R'} \cdot 10^{-7} k_p \tag{15}$$

Faktor efek proksimiti

Untuk kabel berinti tiga atau kabel berinti tunggal :

$$y_p = \alpha y^2 \left( 0,312y^2 + \frac{1,48}{\alpha + 0,17} \right) \tag{16}$$

Dengan :

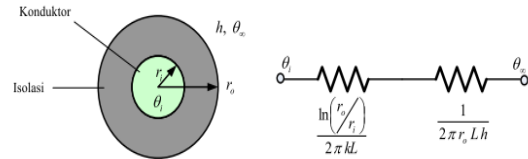
$$x_p^2 = \frac{60f}{R'} \cdot 10^{-7} k_p \tag{17}$$

$$\alpha = \frac{x_p^2}{192 + 0,8x_p^2} \gamma = \frac{\alpha_c}{s}$$

- dc = diameter konduktor (mm)
- s = jarak antara sumbu konduktor (mm)

2.8 Perpindahan Panas Kabel

Perpindahan panas pada kabel yang ditempatkan di udara berlangsung secara konduksi dan konveksi. Gambar 4 menunjukkan suatu kabel dengan jari-jari  $r_o$ , jari-jari konduktor  $r_i$ , suhu permukaan konduktor  $\theta_i$  dan suhu lingkungan  $\theta_\infty$ .



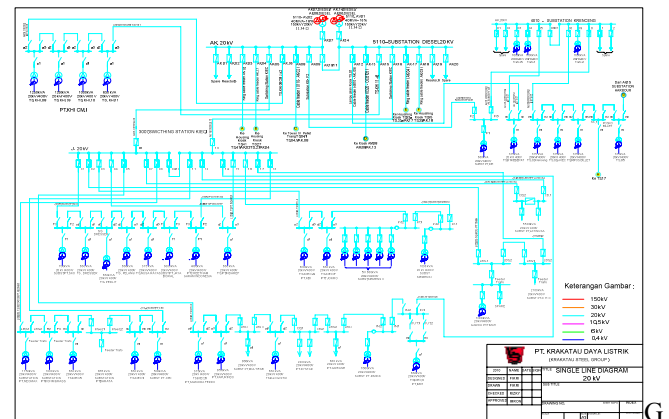
Gambar 4. Kabel Dan Analogi Listriknya

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menganalisa pengaruh arus gangguan terhadap tegangan induksi dan isolasi kabel bawah tanah 20kV, harus diketahui terlebih dahulu gambaran umum dari kabel tersebut. Kabel tegangan tinggi 20 kV memiliki spesifik yang beragam untuk itu penulis akan mengambil salah satu data kabel yang digunakan di PT. KDL gardu induk KIEC1. Adapun data-data yang diperlukan antara lain:

a. Data Jaringan

Data jaringan / Bus Station KIEC 1 20kV dapat dilihat pada Gambar 5 dan jenis kabel yang digunakan pada jaringan adalah N2XSEFGbY dengan ukuran 95 mm<sup>2</sup>



Gambar 5. Single Line Diagram 20kV

b. Data Kabel

Kabel yang digunakan di gardu induk KIEC 1 yaitu kabel XLPE 20 kV jenis N2XSEFGbY 95 mm<sup>2</sup> dengan data kabel dapat dilihat pada Tabel dibawah ini.

Tabel 1. Data Kabel N2XSEFGbY 95 mm<sup>2</sup>

No	Data	Nilai	Satuan
1	Cross section nominal	95	mm <sup>2</sup>
2	Conductor Diameter	11,7	mm
3	Insulation thickness	2,5	mm

No	Data	Nilai	Satuan
4	Insulation diameter	18,1	mm
5	Sheath thickness	2,6	mm
6	Overall cable diameter	53	mm
7	Cable net weight	6000	Kg / Km
8	DC resistance conductor	0,193	ohm / km
9	Capacitance	0,318	uF / km
10	Inductance	0,293	mH/km
11	Max short circuit current of conductor	13,88	kA/sec

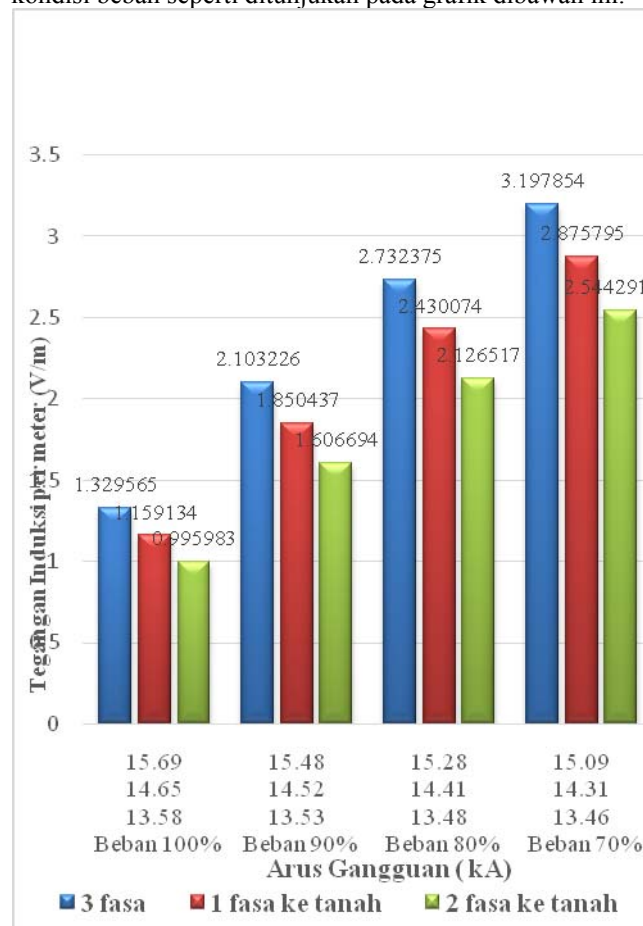
Tabel 2. Data Parameter Perhitungan Kabel N2XSEFGbY 95 mm<sup>2</sup>

No	Keterangan	Simbol	Nilai	Satuan
1	Tegangan Fasa Ke Fasa	V <sub>LL</sub>	20	kV
2	Tahanan Awal	R <sub>o</sub>	$0,193 \times 10^{-3}$	Ohm/m
3	Tahanan Awal Selubung	R <sub>selo</sub>	$0,17 \times 10^{-3}$	Ohm/m
4	Tahanan Awal Perisai	R <sub>ao</sub>	$0,734 \times 10^{-3}$	Ohm/m
5	Suhu Ambient	T <sub>o</sub>	20	°C
6	Suhu Maksimum Konduktor	T <sub>c</sub>	90	°C
7	Suhu Maksimum Selubung	T <sub>sel</sub>	70	°C
8	Suhu Maksimum Perisai	T <sub>a</sub>	70	°C
9	Koefisien Tahanan Selubung	a <sub>sel</sub>	$4 \times 10^{-3}$	1/°C
10	Koefisien Tahanan Tembaga	a <sub>a</sub>	$3,93 \times 10^{-3}$	1/°C
11	Konstanta Konduktor	k <sub>s</sub>	1	-
12	Konstanta Konduktor	k <sub>p</sub>	1	-
13	Jarak Antar Kabel	S	200	mm
14	Nilai Permittivitas	ε	2,5	-
15	Faktor Rugi Isolasi	tan δ	0,004	-
16	Resistivitas Termal Isolasi	α <sub>i</sub>	3,5	K.m/W
17	Resistivitas Termal PVC	α <sub>p</sub>	6,0	K.m/W
18	Diameter Konduktor	D <sub>c</sub>	11,7	mm
19	Diameter Isolasi	D <sub>i</sub>	24,3	mm
20	Diameter Selubung	D <sub>s</sub>	60,2	mm
21	Diameter Perisai	D <sub>a</sub>	61,8	mm
22	Diameter Kabel	D <sub>e</sub>	68	mm
23	Tebal Isolasi	t <sub>1</sub>	5,5	mm
24	Tebal Lapisan Luar	t <sub>3</sub>	3,1	mm
25	Tebal Selubung	T <sub>s</sub>	0,8	mm

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Simulasi

Berdasarkan simulasi Etap yang dilakukan, diperoleh nilai arus normal dan arus gangguan pada berbagai macam kondisi beban seperti ditunjukkan pada grafik dibawah ini.

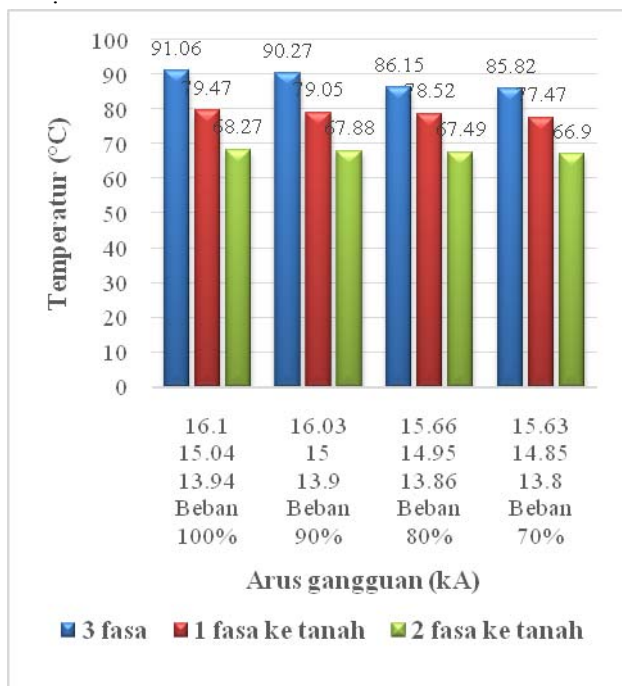


Gambar 6. Grafik Arus Gangguan Terhadap Tegangan Induksi Pada TSKIEC 6 Untuk Gangguan 3 $\phi$ , 1 $\phi$ , Dan 2 $\phi$  Saat Beban 70%-100%

Berdasarkan hasil Gambar 6 di atas dapat disimpulkan bahwa arus gangguan 3 fasa lebih besar dibandingkan dengan 1 fasa dan 2 fasa. Adanya perubahan beban pada jaringan mempengaruhi nilai arus gangguan dan arus normal saat beban turun maka arus gangguan dan arus normal menjadi turun dan sebaliknya saat beban ditambah maka arus gangguan menjadi lebih besar. Sehingga perubahan beban berpengaruh pada nilai arus gangguan dan arus normal suatu jaringan. Saat terjadi perubahan beban dari 100% sampai 70% tegangan induksi lebih bertambah semakin besar. Karena saat terjadi penurunan beban nilai arus normal menjadi kecil dan arus gangguan menjadi kecil juga. Karena nilai arus normal berbanding terbalik dengan tegangan induksi sehingga penurunan arus normal mengakibatkan tegangan induksi semakin besar. Dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai arus gangguan dan arus normal berpengaruh pada nilai tegangan induksi, dapat dilihat pada Grafik 4.1 di atas pada beban 70% saat gangguan 3 fasa nilai tegangan induksi per meter yang paling besar yaitu 3,197 V/m.

### 4.2 Menghitung Temperatur

Berdasarkan hasil perhitungan pengaruh arus gangguan terhadap temperatur diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Arus Gangguan Terhadap Temperatur Pada SS CBI Untuk Gangguan 3 $\phi$ , 1 $\phi$ , Dan 2 $\phi$  Saat Beban 70%-100%

Berdasarkan hasil Gambar 7 di atas dapat disimpulkan bahwa arus gangguan 3 fasa lebih besar dibandingkan dengan 1 fasa dan 2 fasa. Saat kondisi beban 100% Temperatur lebih besar dibandingkan yang lain. Karena pengaruh dari nilai arus gangguan yang besar pula yaitu untuk gangguan 3 fasa nilainya 16,1 kA, 1 fasa ke tanah 15,04 kA dan 13,94 kA. Adanya perubahan beban pada jaringan mempengaruhi nilai arus gangguannya saat beban turun maka arus gangguan akan turun dan sebaliknya saat beban ditambah maka arus gangguan akan lebih besar. Sehingga perubahan beban berpengaruh pada nilai arus gangguan suatu jaringan. Dan saat nilai arus gangguan yang besar, maka Temperatur semakin besar. Dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai arus gangguan berpengaruh pada nilai Temperatur, dapat di lihat pada Grafik di atas pada beban 100% saat gangguan 3 fasa nilai Temperatur yang paling besar yaitu 91,06 °C. sehingga semakin besar arus gangguan maka semakin besar Temperaturnya. Dari hasil yang didapat berdasarkan perhitungan ditunjukkan bahwa pada saat beban 100% dan 90 % yang ditunjukkan pada grafik bahwa temperatur SS CBI 91,06°C dan 90,27°C sudah melebihi batas maksimal ketahanan isolasi kabel 90°C yang dapat mengakibatkan kegagalan isolasi pada kabel. Pada saat beban 80% dan 70% temperatur kabel tidak ada yang melebihi batas ketahanan isolasi kabel tersebut.

## V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan induksi dipengaruhi oleh perubahan arus gangguan, semakin besar arus gangguan maka semakin besar tegangan induksi pada suatu Feeder.

2. Hasil penelitian nilai arus gangguan 3 fasa memiliki nilai yang paling besar dibandingkan 1 fasa ke tanah dan 2 fasa ke tanah.
3. Perubahan arus gangguan dipengaruhi juga oleh perubahan beban. Saat beban dikurangi nilai tegangan induksinya lebih besar.
4. Hasil yang didapat berdasarkan perhitungan gangguan 3 fasa pada feeder SS CBI dan saat kondisi beban 100% nilai temperaturnya 91,06°C dan saat kondisi beban 90% nilai temperaturnya 90,27°C. Dengan standard ketahanan isolasi kabel yaitu 90°C, berarti nilai temperaturnya sudah melebihi batas standard maksimal ketahanan isolasi kabel.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardella, Nofri. *Analisa Pengaruh Temperatur Tanah Dan Jarak Penanaman Kabel Terhadap Kapasitas Hantar Arus Dan Performansi Kabel Tanah Tegangan 20 kV*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2013.
- [2] Anshari, Riza. *Analisis Termal Kabel Tanah Tegangan Menengah Menggunakan Metode Numerik*. Universitas Sumatera Utara, 2010.
- [3] Halomoan, Cristof N. *Studi Konsep Adiptif Rele Jarak Terhadap Kegagalan Jaringan Saluran Transmisi Ganda Muara Tawar-Cibatu 500 kV*. Universitas Indonesia, 2008.
- [4] Simanjuntak, T. 1985. *Listrik Magnet*. Bandung: Penerbit ALUMNI.
- [5] Soedjojo, Peter. 1999. *Fisika Dasar*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- [6] Gianoulis, Cosmas. *Investigate the Use of Thermal Protection for Underground Cables in Eragon Energy's Electricity Network*, A Dissertation for The Doctor Degree of Faculty of Engineering and Surveying, University of Queensland, 2006.
- [7] F. A.Y. Walangare, L. S. Patras, H. Tumaliang, A. F. Nelwan. *Pemrograman Perhitungan Termis Kabel Bawah Tanah 20 kV Menggunakan Program Visual Basic 6.0*. UNSRAT, 2013.
- [8] Holman, J.P., 1986. *Heat Transfer, Sixth Edition*, New York: McGraw-Hill.

# Rancangan Low Noise Amplifier Subsystem Receiver Peralatan DME

Feti Fatonah

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug, Tangerang

Hamestuti Hanggana Raras

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug, Tangerang

**Abstract**—Distance Measuring Equipment (DME) merupakan alat bantu navigasi udara yang bekerja pada range frekuensi 962-1213 MHz yang memberikan informasi kepada penerbang berupa slant range atau jarak mirik terhadap groundstation NDB. Pada subsystem receiver di peralatan DME THALES 415/435 diperlukan LNA yang stabil dan memiliki gain yang tinggi serta Noise Figure dan return loss yang rendah. Untuk memperoleh hal tersebut, maka dirancang LNA menggunakan transistor 2SC5006 dengan bias DC  $V_{CE}=10\text{ V}$  dan  $I_C=10\text{ mA}$  agar memperoleh gain yang tinggi dan noise figure yang rendah. Sementara itu, digunakan lumped matching untuk menurunkan nilai return loss dan VSWR. Hasil perancangan rangkaian LNA memiliki keluaran gain ( $S_{21}$ ) =13.209 dB, return loss ( $S_{11}$ ) =-22.303 dB, noise figure =0.863 dB, VSWR=1.166, stability factor ( $K$ )=1.004 dan bandwidth =40 MHz.

**Kata Kunci**— LNA, DME, Return Loss, Insertion Loss

## I. PENDAHULUAN

Fasilitas Navigasi Penerbangan pasti diperlukan dalam perjalanan maupun proses pendaratan pesawat terbang. Informasi yang diberikan peralatan navigasi penerbangan antara lain ialah azimuth, bearing/radial, distance dan beacon. Peralatan navigasi ini salah satunya adalah DME (Distance Measuring Equipment). Peralatan DME bekerja pada band UHF dengan range frekuensi antara 962 MHz sampai dengan 1213 MHz. DME merupakan sistem navigasi yang memberikan informasi jarak ( slant Range ) antara pesawat dengan ground station DME. Sistem DME terdiri dari transmitter / receiver yang ada di pesawat yang disebut interrogator, dan receiver/transmitter yang ada diground station yang disebut transponder. Pada subsystem receiver DME Thales 415/435 terdapat blok UHF Front End. Pada tahap ini sinyal interogasi yang diterima difilter terlebih dulu oleh preselector pertama kemudian dikuatkan oleh Low Noise Amplifier (LNA) dan diterapkan pada preselector kedua yang selanjutnya dapat dimixer dengan frekuensi synthesizer dan menghasilkan IF 63 MHz

Pada rancangan ini, LNA dirancang menggunakan komponen lumped yang terdiri dari inductor dan kapasitor. LNA dirancang sehingga dapat bekerja pada band UHF dengan frequency kerja 1101 MHz yang merupakan besaran frekuensi sinyal interogasi channel 77x (Annex 10 Vol. I) dengan bandwidth kurang lebih 10 MHz, dan memiliki input return loss ( $S_{11}$ ) < -10 dB, Gain ( $S_{21}$ ) > 10 dB

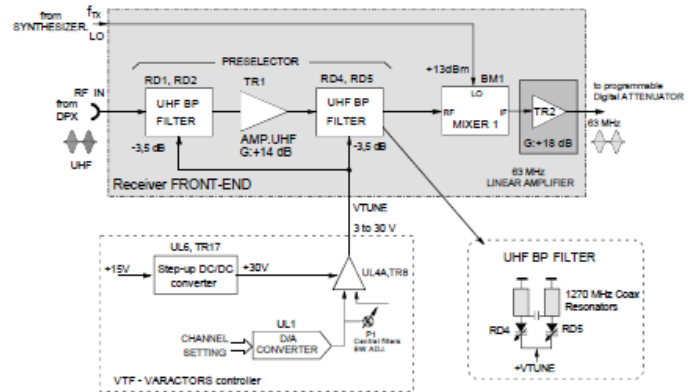


Figure 1.42. RX – Front End and 63 MHz linear amplif. - Block diagram

Gambar 1 Blok diagram UHF Front End DME THALES

## II. PEMBAHASAN

Spesifikasi LNA :

1. Range Frekuensi : 962-1213 MHz
2. Frekuensi Kerja : 1101 MHz
3. Bandwidth : 10 Mhz  $\pm$  2 MHz
4. Stability Factor :  $K > 1$
5. Gain ( $S_{21}$ ) : > 10 dB
6. Return Loss ( $S_{11}$ ) : < -10 dB
7. Noise Figure : < 2 dB
8. VSWR :  $1 \pm 0.2$

Tabel 1 . Karakteristik Transistor 2sc5006

PARAMETER	NILAI
Fungsi	LNA
Operating Freq.	VHF-UHF
Vce max	12 V
Ic max	100 mA
Noise Figure	< 1.5 dB
Gain (S21)	> 20dB
hFE	80-160

LNA dirancang menggunakan transistor 2SC5006 yang memiliki karakteristik sebagai berikut

Biasing transistor menggunakan konfigurasi voltage divider. Target bias yang direncanakan adalah  $V_{CE}=3\text{ V}$  dan arus  $I_C=10\text{ mA}$  dengan DC supply  $V_{CC}=12\text{ V}$ . Berdasarkan datasheet nilai  $\beta = 100$  dan  $V_{BE} \approx 0.8\text{ V}$ .

Untuk menentukan nilai elemen resistor pada rangkaian voltage divider, digunakan perhitungan sebagai berikut :

$$V_B = 0.1 \times V_{CC} = 0.1 \times 12\text{ V} = 1.2\text{ V}$$

$$V_E = V_{BE} + V_B = 0.8\text{ V} + 1.2\text{ V} = 2\text{ V}$$

Gambar 4 Rangkaian matching T

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = \frac{1.2V}{10mA} = 120\ \Omega$$

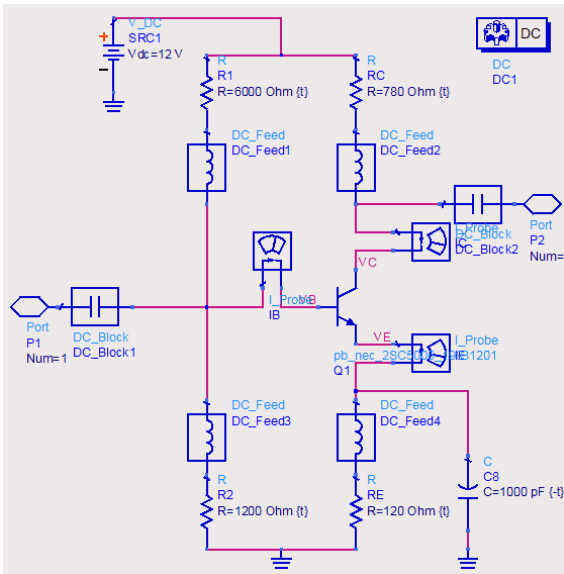
$$R_C = \frac{V_C}{I_C} = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{12 - 3 - 1.2V}{10mA} = 780\ \Omega$$

$$R_2 = 0.1 \times \beta \times R_E = 0.1 \times 100 \times 120\ \Omega = 1200\ \Omega$$

$$R_1 = \frac{R_2 \times V_{CC}}{V_B} - R_2 = \frac{1200 \times 12}{2} - 1200 = 6000\ \Omega$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka dapat ditntukan rangkaian DC biasing sperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

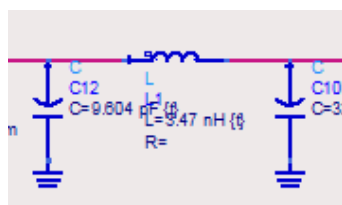
Pada Gambar 2 terdapat komponen tambahan selain komponen yang digunakan untuk biasing transistor seperti DC Block, DC Feed, dan kapasitor bypass. DC Block digunakan agar aliran sinyal DC sebagai biasing transistor menjadi maksimal. DC Feed digunakan untuk memblok sinyal RF sehingga tidak mempengaruhi kondidi biasing. Kapasitor bypass berguna sebagai rangkaian short saat sinyal RF mengalir sehingga resistor pada bagian emitter tidak diperhitungkan sebgai beban dari transistor dan gain yang maksimal bias didapatkan



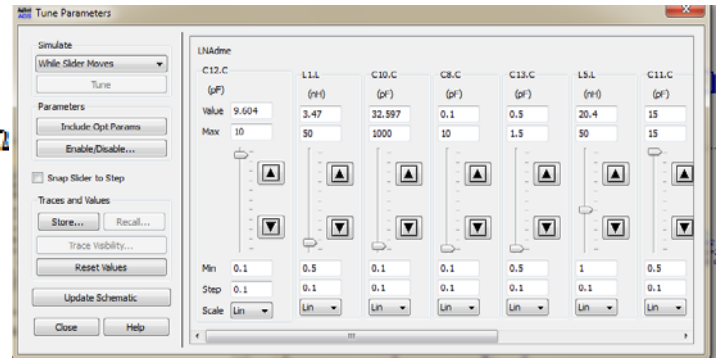
Gambar 2 DC Biasing transistor 2SC5006

**Matching Impedance**

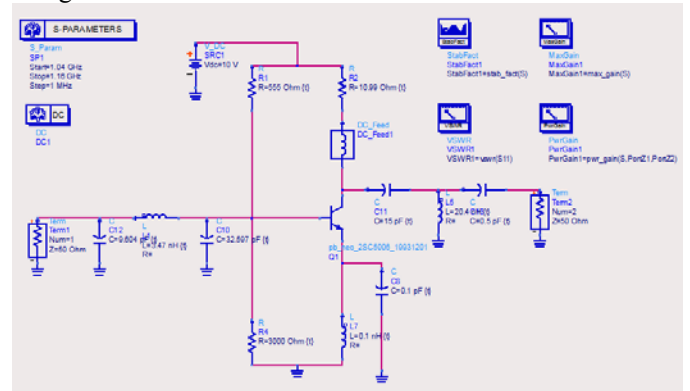
Rangkaian matching impedance menggunakan komponen lumped yang berupa inductor dan kapasitor, rangkaian yang digunakan adalah rangkaian matching PI atau T.



Gambar 3 Rangkaian matching PI



Untuk mendapatkan spesifikasi Low Noise Amplifier yang diinginkan, maka dilakukan proses optimalisasi hingga mencapai spesifikasi rancangan LNA yang diinginkan. Optimalisasi merupakan proses perubahan nilai pada komponen yang diinginkan sampai frekuensi respon dari LNA yang diinginkan tercapai. Optimalisasi dilakukan terhadap komponen pembentuk input dan output impedance matching.



Gambar 6 Rangkaian lengkap rancangan DC Biasing

**III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN**

Setelah menentukan nilai-nilai pada rangkain biasing voltage divider berdasarkan karakteristik transistor yang telah didapatkan maka dibuat rangkain voltage divider sperti pada Gambar 2. Simulasi dari rangkaian pada Gambar 2 dapat dilihat pada table berikut ini

freq	IB	IC	IE	VB	VC	VE
0.0000 ...	72.21 uA	9.442 mA	9.514 mA	1.928 V	4.635 V	1.142 V

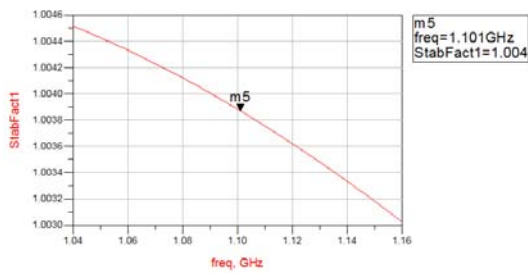
Eqn VCE=VC-VE

freq	VCE
0.0000 Hz	3.493

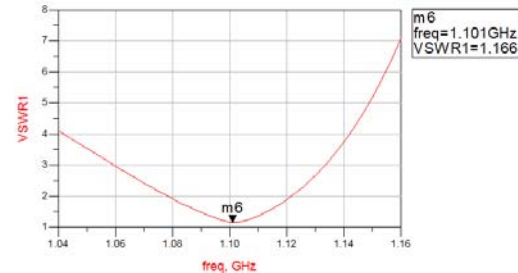
Table 1 Hasil simulasi DC Biasing

Hasil simulasi kestabilan terlihat pada gambar 7. Terukur nilai K pada band frekuensi 1.101 MHz sebesar 1.004. Ini berarti niali K > 1 yang memenuhi persyaratan LNA . Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa kondisi unconditionally stable tercapai .



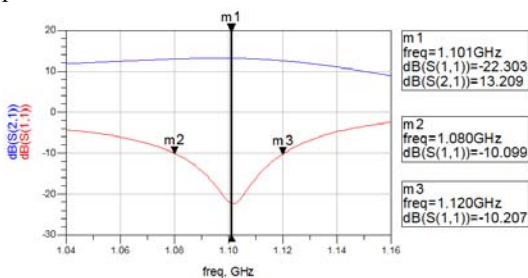


Gambar 4 Hasil simulasi stability factor

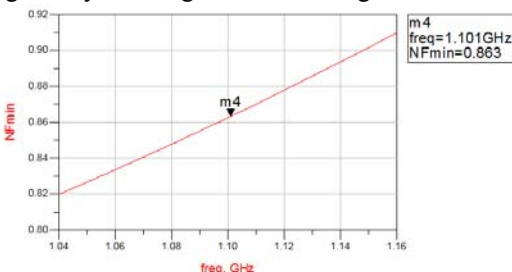


Gambar 7 Hasil simulasi VSWR

Hasil simulasi  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  dari rancangan pada gambar 6 terlihat pada gambar 8 berikut ini. Terukur nilai  $S_{11}$  pada frekuensi 1.101 MHz adalah  $-22.303$  dB dan bandwidth yang dicapai pada batas  $S_{11} < -10$  dB sekitar 40 MHz. Nilai return loss sudah memenuhi spesifikasi rancangan LNA yang diinginkan. Sedangkan untuk simulasi  $S_{21}$  menunjukkan  $13.209$  dB pada frekuensi 1.101 MHz. Hal ini juga sudah memenuhi spesifikasi rancangan LNA yaitu mencapai  $> 10$  dB pada band frekuensi 1.101 Mhz.

Gambar 5 Hasil simulasi  $S_{11}$  dan  $S_{21}$ 

Pada simulasi ini dihasilkan nilai Noise Figure pada band frekuensi 1.101 Mhz sebesar  $0.863$  dB. Hasil simulasi ini sudah memenuhi spesifikasi rancangan LNA yang diinginkan yaitu dengan nilai noise figure  $< 2$ .



Gambar 6 Hasil simulasi Noise Figure

Hasil simulasi VSWR pada frekuensi 1.101 MHz terukur 1.166. Hal ini sudah memenuhi spesifikasi rancangan LNA yaitu dengan nilai sebesar  $1 \pm 0.2$ .

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan, hasil simulasi, dan optimalisasi yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

Hasil simulasi Low noise Amplifier dengan biasing voltage divider menunjukkan hasil performansi pada frekuensi kerja 1.101 MHz dengan nilai gain  $13.209$  dB, noise figure  $0.863$  dB, kestabilan sebesar 1.004, input return loss  $-22.303$  dB dan bandwidth yang dicapai pada batas  $S_{11} < -10$  dB sekitar 40 MHz, serta VSWR sebesar 1.166.

#### REFERENCES

- [1] ICAO, Annex 10, Aeronautical Telecommunication, Vol 1, Chapter 3, "Specifications for radio navigation Aids", 1996
- [2] Thales, "Technical Manual Distance Measuring Equipment", 2004
- [3] Ir. Gunawan Wibisono, M.Sc; Ph.D dan Muh Wildan, "Co- Design Dual Band LNA dan Bandpass Filter RF Field Detector untuk Monitoring Ground Check Peralatan Radio Navigation Aids", Program Studi Teknik Elektro Universitas Indonesia
- [4] [J. Millman, C. C. Halkias, "Integrated electronics", 1972, McGraw-Hill.
- [5] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF circuit design - theory and applications", 2000 Prentice-Hall.
- [6] B. Razavi, "RF microelectronics", 1998 Prentice-Hall, TK6560.
- [7] [8] J. R. Smith, "Modern communication circuits", 1998 McGraw-Hill.
- [8] P. H. Young, "Electronics communication techniques", 5<sup>th</sup> edition, 2004 Prentice-Hall.
- [9] Gilmore R., Besser L., "Practical RF circuit design for modern wireless systems", Vol. 1 & 2, 2003, Artech House.
- [10] Ogata K., "Modern control engineering", 4<sup>th</sup> edition, 2005, Prentice-Hall.

# Perancangan Antena Mikrostrip Patch Segi Empat Frekuensi 3,3 GHz Untuk Aplikasi WiMAX

Herudin, Alimuddin  
 Jurusan Elektro Fakultas Teknik  
 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
 e-mail : h3ru3r11@yahoo.co.id, alimuddin@ft-untirta.ac.id

**Abstrak**-Antena memegang peranan yang penting dalam teknologi mobile wireless. Antena tersebut berfungsi sebagai transmitter dan receiver. Salah satu jenis antena yang banyak digunakan adalah antena mikrostrip

Antena mikrostrip memiliki beberapa keuntungan, di antaranya bentuk kompak, dimensi kecil, mudah untuk difabrikasi, mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan divais elektronik lain.

Pada penelitian ini dirancang suatu antena mikrostrip bentuk patch segiempat yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz untuk aplikasi WiMAX. Perancangan antena ini menggunakan software AWR Microwave Office 2009. Hasil simulasi diperoleh nilai return loss antena sebesar - 13,41 dB, Sedangkan untuk nilai VSWR nya sebesar 1,546

**Kata kunci** : Antena Mikrostrip, Return loss, VSWR, WiMAX

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Seiring dengan perkembangan aktivitas manusia yang semakin mobile, maka dituntut pula suatu konsep teknologi telekomunikasi yang mampu mengimbangnya. Oleh karena itu, muncul konsep teknologi mobile wireless, dimana pada sistem komunikasi ini tidak lagi menggunakan media kabel (wireless), sehingga pengguna dapat bebas bergerak kemanapun.

Salah satu komponen untuk mendukung teknologi wireless adalah antena. Antena tersebut digunakan sebagai pemancar dan penerima (transmitter dan receiver). Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang banyak di gunakan pada teknologi wireless karena memiliki beberapa keuntungan yaitu bentuknya yang kecil, kompak dan sederhana.

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) merupakan salah satu teknologi wireless broadband yang dapat diaplikasikan untuk melakukan komunikasi berupa data karena WiMAX ini mempunyai bandwidth yang lebar dan bit rate yang besar.

Standard dari WiMAX ini diatur oleh standard IEEE 802.16. Salah satu frekuensi WiMAX yang berlaku di Indonesia berdasarkan rancangan keputusan Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi yaitu berada pada frekuensi 3,3 GHz.

### 1.2 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan dapat menemukan suatu bentuk antena mikrostrip yang tepat dan efisien, sehingga dapat diaplikasikan pada teknologi WiMAX.

### 1.3 Teori Singkat

#### 1.3.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip memiliki bentuk dan ukuran yang ringkas sehingga dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi yang membutuhkan spesifikasi antena yang berdimensi kecil sehingga dapat mudah dibawa dan dapat diintegrasikan dengan rangkaian elektronik lainnya (seperti IC, rangkaian aktif, dan rangkaian pasif). Antena ini dapat diaplikasikan pada berbagai kegunaan seperti komunikasi satelit, komunikasi radar, militer, dan aplikasi bergerak (mobile)[1].

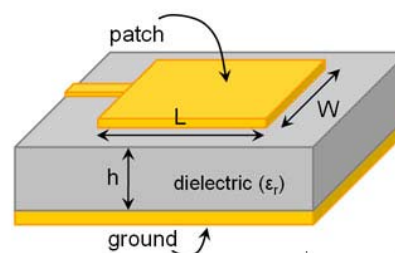
Antena mikrostrip ini sendiri memiliki beberapa keuntungan dibanding dengan antena lainnya, yaitu :

1. Mudah direalisasikan dan tidak memakan biaya yang besar.
2. Mempunyai ukuran dan bentuk yang ringkas
3. Dapat dibuat untuk menghasilkan berbagai macam pola radiasi
4. Mudah dikoneksikan dan diintegrasikan dengan devais elektronik lain.

Akan tetapi selain beberapa keuntungan yang dimiliki, antena mikrostrip juga memiliki beberapa kekurangan, yaitu:

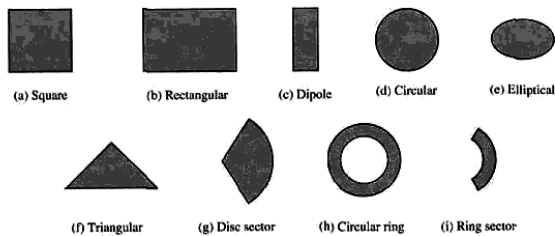
1. Mempunyai efisiensi yang rendah
2. Memiliki bandwidth yang sempit

Antena mikrostrip mempunyai 4 bagian dasar, yaitu elemen peradiasi (patch), substrat dielectric, saluran transmisi, dan bidang pentanahan (ground plane). Adapun bagian-bagian dasar dari antena mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagian-bagian Antena Mikrostrip

Elemen peradiasi berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Elemen ini biasa disebut sebagai radiator *patch* dan terbentuk lapisan logam yang memiliki ketebalan tertentu. Jenis logam yang biasa digunakan adalah tembaga (*copper*) dengan konduktivitas  $5,8 \times 10^7$  S/m. Ada berbagai macam bentuk elemen peradiasi yang diantaranya adalah bentuk persegi, persegi panjang, garis tipis (*dipole*), lingkaran, elips, segitiga. Gambar berbagai bentuk antenna mikrostrip dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2. Berbagai Bentuk Antena Mikrostrip

### 1.3.2 Parameter Antena

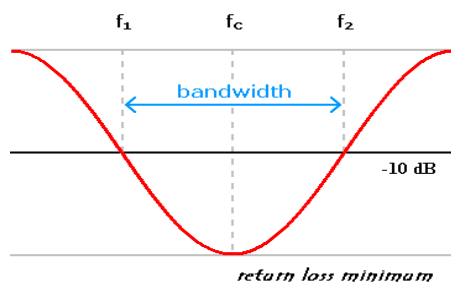
Performansi dari suatu antena dapat dilihat dari parameter antena itu sendiri. Ada banyak parameter dari antena. Berikut ini akan dijelaskan beberapa parameter tersebut.

#### 1.3.2.1 Frekuensi Resonansi

Frekuensi resonansi merupakan frekuensi kerja dari suatu antena. Rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat dari grafik VSWR dan grafik *return loss*. Rentang frekuensi dari suatu antena dapat diketahui dari grafik VSWR-nya, yaitu ketika nilai VSWR-nya lebih kecil atau sama dengan 2. Sedangkan apabila menggunakan grafik *return loss* rentang frekuensi kerja dari suatu antena dapat dilihat ketika nilai *return loss*-nya bernilai lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB. [7]

#### 1.3.2.2 Bandwidth

*Bandwidth* atau lebar pita frekuensi (Gambar 3) suatu antena didefinisikan sebagai besar rentang frekuensi kerja dari suatu antena, di mana kinerja antena yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, *return loss*,) memenuhi spesifikasi standar[5]. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antena sudah diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antena, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antena.[8]



Gambar 3. Rentang Frekuensi yang Menjadi *Bandwidth*

*Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan Persamaan berikut ini

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (1)$$

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad (2)$$

dengan :

$$\begin{aligned} BW &= \text{bandwidth} && (\%) \\ f_2 &= \text{frekuensi tertinggi} && (\text{GHz}) \\ f_1 &= \text{frekuensi terendah} && (\text{GHz}) \\ f_c &= \text{frekuensi tengah} && (\text{GHz}) \end{aligned}$$

*Bandwidth* (BW) antena biasanya ditulis dalam bentuk persentase *bandwidth* karena bersifat relatif lebih konstan terhadap frekuensi.

Salah satu jenis *bandwidth* adalah *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana *patch* antena berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antena bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR. Nilai *return loss* dan VSWR yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dB dan 2, secara berurutan.

#### 1.3.2.3 VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ) [7]. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [4]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} \quad (3)$$

Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks, yang merepresentasikan besarnya magnitudo dan fasa dari refleksi.

Persamaan untuk mencari nilai VSWR adalah [6]:

$$S = \frac{|V|_{\max}}{|V|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (4)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar VSWR yang diijinkan untuk pabrikan antena adalah  $VSWR \leq 2$ . [8]

### 1.3.2.4 Return Loss

*Return loss* merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi tidak *matching*. *Return loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Sehingga tidak semua daya diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan balik.

Nilai VSWR yang baik pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan 2, sehingga nilai *return loss* yang baik adalah sebesar lebih kecil atau sama dengan -9,54 dB. Maka dari itulah frekuensi kerja dari antena yang baik adalah ketika *return loss*-nya bernilai  $\leq -9,54$  dB.[8]

### 1.3.2.5 Impedansi Masukan

Impedansi masukan dari suatu antena dapat dilihat sebagai impedansi dari antena tersebut pada terminalnya. Impedansi masukan,  $Z_{in}$  terdiri dari bagian real ( $R_{in}$ ) dan imajiner ( $X_{in}$ ).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in} \quad \Omega \quad (5)$$

Dari Persamaan 5 di atas, komponen yang diharapkan adalah impedansi real ( $R_{in}$ ) yang menggambarkan banyaknya daya yang hilang melalui panas ataupun radiasi. Komponen imajiner ( $X_{in}$ ) mewakili reaktansi dari antena dan daya yang tersimpan pada medan dekat antena. Kondisi *matching* harus dibuat sedemikian rupa sehingga mendekati  $50 + j0 \Omega$ . [8]

### 1.3.3 Antena Mikrostrip Patch Segiempat

Salah satu bentuk *patch* antena mikrostrip adalah Segiempat. Sejauh ini, *patch* berbentuk Segiempat adalah bentuk yang paling mudah untuk dianalisis. Berikut adalah perhitungan yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk Segiempat :

Frekuensi resonansi dirumuskan dengan:

$$f_{mn} = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[ \left( \frac{m}{L_{eff}} \right)^2 + \left( \frac{n}{W} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

Efek medan tepi pada elemen peradiasi:

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (7)$$

Panjang elemen peradiasi efektif:

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (8a)$$

Atau

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_{10} \sqrt{\epsilon_e}} \quad (8b)$$

Lebar elemen Peradiasi:

$$W = \frac{c}{2 f_o \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (9)$$

Dengan :

- $\epsilon_r$  = konstanta dielektrik,
- $c$  = kecepatan cahaya
- $f_r$  = rekuensi operasi dalam Hz.
- $\epsilon_e$  = konstanta dielektrik efektif
- $\Delta L$  = perubahan panjang yang disebabkan oleh adanya *fringing effect*.

### 1.3.4 Perhitungan Lebar Saluran Pencatu Mikrostrip (Microstrip Line)

Lebar saluran pencatu mikrostrip ( $W$ ) tergantung dari impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) yang diinginkan. Adapun persamaan untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh Persamaan 10 di bawah ini . [8]

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (10)$$

dengan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$A = \frac{Z_0}{60} \left\{ \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right\}^{1/2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left\{ 0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right\} \quad (11)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

## II. PERANCANGAN ANTENA

Pada penelitian ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip untuk aplikasi WiMAX yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz (3,3 GHz – 3,4 GHz).

Ada beberapa tahapan dalam perancangan antena ini, di antaranya adalah penentuan frekuensi kerja antena, penentuan spesifikasi *substrat* yang akan digunakan, penentuan lebar pencatu, penentuan dimensi *patch* antena, dan penentuan posisi pencatu. Hasil rancangan tersebut kemudian disimulasikan dengan menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009* .

## III. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

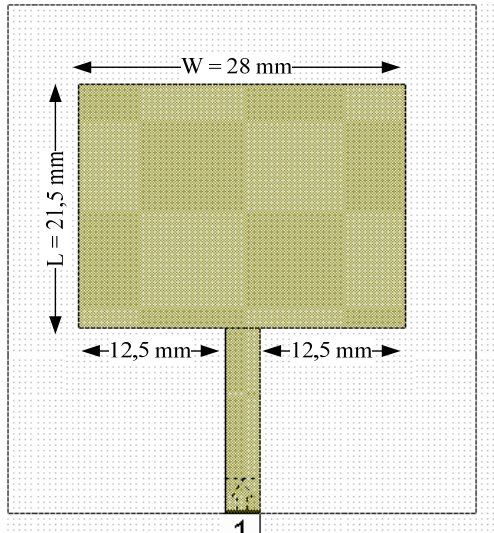
### 3.1.1 Penentuan Lebar Saluran Pencatu

Saluran pencatu yang digunakan pada antena ini adalah jenis saluran mikrostrip dengan teknik pencatutan langsung. Saluran pencatu  $50 \Omega$  akan menjadi saluran pencatu antena yang akan dihubungkan dengan konektor  $50 \Omega$ .

Menggunakan Persamaan 10, dan persamaan 12 dengan nilai  $\epsilon_r = 4,3$ ,  $Z_0 = 50 \text{ Ohm}$ , dan  $h = 0,0016 \text{ m}$ , maka didapatkan lebar saluran mikrostrip sebesar  $3,11 \text{ mm}$  dibulatkan menjadi **3 mm**

### 3.1.2 Penentuan Dimensi Patch Antena

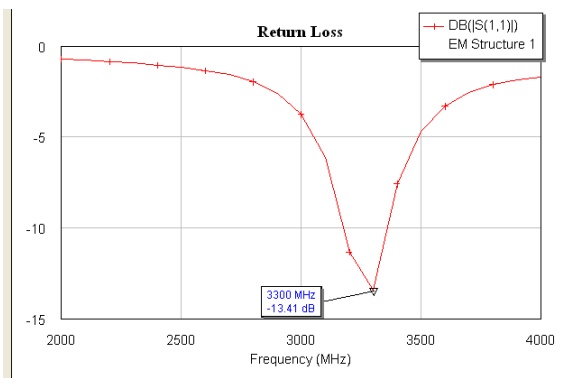
Setelah dilakukan perhitungan dan simulasi maka diperoleh dimensi patch antena mikrostrip seperti pada gambar dibawah ini.



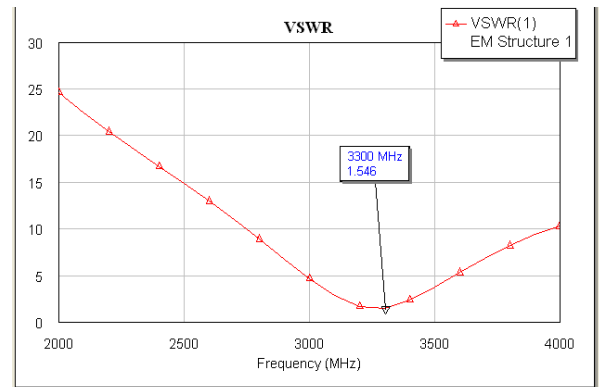
Gambar 4. Hasil Rancangan Dimensi Antena Mikrostrip Frekuensi 3,3 GHz.

### 3.1.3 Hasil Simulasi Return Loss, VSWR dan Perhitungan Bandwidth

Untuk mengetahui nilai *return loss* dan VSWR dari antena yang telah dirancang, maka dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *AWR Microwave Office 2009*, adapun hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Simulasi Return Loss



Gambar 6. Hasil Simulasi VSWR

Berdasarkan nilai *return loss* dan VSWR yang didapat pada hasil simulasi (Gambar 5 dan Gambar 6) dapat disimpulkan bahwa hasil iterasi antena persegi panjang yang terdapat pada Gambar 4, telah bekerja pada frekuensi yang ditentukan yaitu frekuensi 3,3 GHz.

## IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa telah berhasil dirancang antena mikrostrip yang bekerja pada frekuensi 3,3 GHz untuk aplikasi WiMAX. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *return loss* antena sebesar -13,41 dB dan nilai VSWR nya sebesar 1,546 dB.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andy Wiryanto, "Perancangan Antena Mikrostrip Linear Array 4 Elemen Dengan Teknik Slot Untuk Aplikasi GPS". 2008.
- [2] Bahl, Inder, Apisak I., P. Bhartia dan R. Garg, "Microstrip Antenna Design Handbook", Artech House, Inc, Norwood, MA, 2001.
- [3] Balanis, C.A. "Antenna Theory Analysis and Design". 1997. John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- [4] B. L. Ooi, X. D. Xu, dan Irene Ang, "Triple-band Slot Antenna with Spiral EBG Feed", IEEE International Workshop on Antenna Technology, 2005.
- [5] Hilman Halim, "Designing Triple-Band Microstrip Antenna That Operate At WiMAX Frequencies", Mei 2007.
- [6] Huie, Keith C., "Microstrip Antennas: Broadband Radiation Patterns Using Photonic Crystal Substrates", (Blacksburg, VA, 2002).
- [7] M.A.S. Alkanhal, "Composite Compact Triple-Band Microstrip Antennas", Progress in Electromagnetics Research, PIER 2009.
- [8] Surjati Indra, "Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya", Universitas Trisakti. Jakarta 2010

# Perancangan *Collpits Oscillator* Frekuensi 1 MHz dengan Resistansi Negatif pada Peralatan NDB Tipe ND 200

Iga Ayu Mas Oka  
Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang

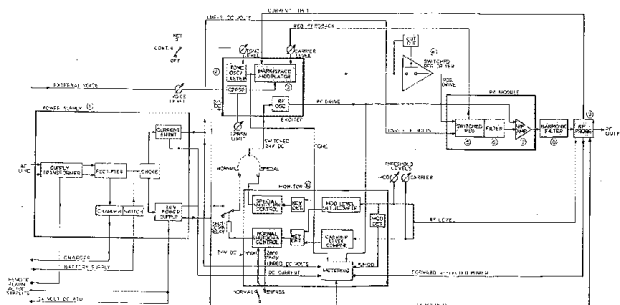
Esti Handarbeni  
Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang  
estimangunwidjojo@yahoo.co.id

**Abstract**— Osilator merupakan system dengan satu terminal/port yang menghasilkan output gelombang sinyal electromagnetic sebagai sumber energi untuk sistem komunikasi microwave. Pada perancangan berikut akan membahas tentang collpits osilator dengan metode negative resistance pada frekuensi kerja 1 MHz di salah satu peralatan navigasi yaitu NDB (Non Directional Beacon). Term negative resistance telah banyak digunakan pada industri osilator untuk memenuhi kebutuhan gain dari rangkaian aktif untuk mendesain osilator yang stabil. Rangkaian ini menggunakan transistor NPN switching jenis 2N2222A low phase noise dengan bias sebesar  $V_{cc} = 20\text{ V}$ ,  $V_{ce} = 10\text{ V}$ ,  $I_c = 10\text{ mA}$ . Osilator tersebut disimulasikan dengan menggunakan software ADS (Advance Design System). Grounded-Base osilator ini juga menggunakan feedback approach. Dengan penambahan induktor pada kaki emitter transistor, menghasilkan gelombang output dengan phase noise dan power harmonik yang rendah.

**Kata Kunci**— Gain, induktor, collpits, negative-resistance, phase noise, ADS

## I. PENDAHULUAN

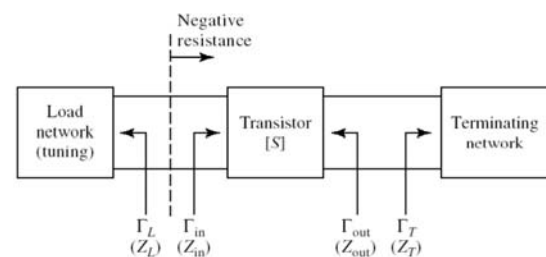
Non Directional Beacon (NDB) adalah fasilitas navigasi penerbangan yang bekerja dengan menggunakan frekuensi rendah (low frequency) berfungsi sebagai pemandu pilot untuk menentukan lokasi, melakukan kegiatan homing, en-route, maupun holding. Osilator berguna sebagai pembangkit sinyal untuk dimodulasi dengan sinyal voice dan tone kemudian dipancarkan melalui antenna pemancar. Perhatikan gambar pada blok diagram NDB tipe ND 200 berikut :



Gambar 1. Blok Diagram NDB ND 200

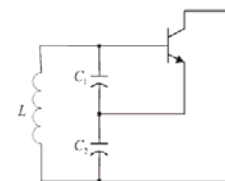
Output dari RF Osilator dikuatkan pada modul Power Amplifier untuk kemudian dipancarkan dalam bentuk kode morse dan diterima oleh ADF (Automatic Direction Finder)

di pesawat. Frekuensi kerja, atau frekuensi *carrier*, merupakan keluaran dari RF osilator seperti terlihat pada gambar diatas. Frekuensi *carrier* yang baik harus memiliki power harmonik dan *phase noise* yang rendah. Untuk mendapatkan frekuensi *carrier* tersebut maka digunakan teknologi Collpits oscillator dengan metode resistansi negatif.



Gambar 2. Osilator Resistansi Negatif

Osilator Colpitts mirip dengan osilator *Shunt-fed Hartley*. Perbedaannya adalah pada bagian rangkaian tangkinya. Pada osilator Colpitts, digunakan dua kapasitor sebagai pengganti kumparan yang terbagi.



Gambar 3. Rangkaian Osilator Collpits

Negative-resistance adalah sebuah rangkaian pembangkitan sinyal yang dapat dipasang secara seri ataupun parallel dengan rangkaian collpits.

Pada perancangan ini diusulkan topologi voltage-divider dengan penambahan induktor menghasilkan power yang lebih besar. Nilai *noise* juga dapat dikurangi. Selain itu, penggunaan BJT juga menjadi keunggulan tersendiri, karena BJT memiliki *phase noise* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan transistor jenis yang lain, walaupun BJT hanya dapat bekerja optimal dibawah 6 GHz , untuk aplikasi pada frekuensi diatas 6 GHz sebaiknya digunakan GaAs transistor.

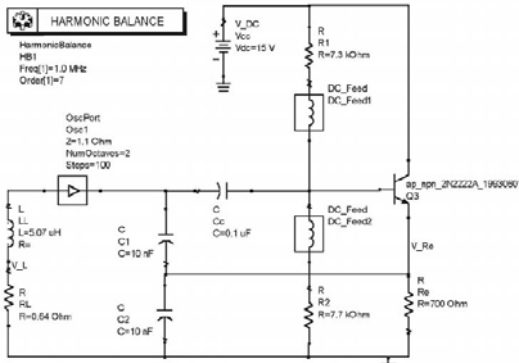
Perancangan circuit yang diusulkan memiliki perbedaan diantaranya penambahan induktor pada kaki emitter transistor, dan kapasitor yang dipasang seri dengan rangkaian collpits, sehingga dapat meningkatkan power fundamental. Untuk mendapatkan phase noise yang rendah digunakan transistor NPN switching tipe 2N2222A dengan bias sebesar  $V_{cc} = 20\text{ V}$ ,  $V_{ce} = 10\text{ V}$  dan  $I_c = 10\text{ mA}$ .

Tujuan utama dari perancangan Osilator Negative-Resistance adalah untuk mendapatkan frekuensi output 1 MHz dengan phase noise maksimal -200 dBc/Hz. Dan power fundamental minimal 20 dBm.

Untuk menverifikasi performansi Osilator yang di desain, hasil simulasi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil referensi yang ada dengan tetap mempertahankan dimensi dari referensi. Perancangan osilator disimulasikan dalam *Advance Design System (ADS)*.

II. PERANCANGAN RANGKAIAN RESISTANSI NEGATIF

Beberapa feedback osilator klasik didesain menggunakan metode negative-resistance.



Gambar 4. Rangkaian referensi osilator menggunakan metode negative-resistance

Metode resistansi negative digunakan secara luas pada desain RF dan frekuensi microwave osilator. Bila komponen aktif digunakan untuk men-supply sejumlah energi sama dengan energi disipasi, circuit dapat menopang osilasi. Karakteristik dari aktif device dapat ditunjukkan dengan negative resistance series dengan reactance. Negative-resistance device ditunjukkan dengan amplitude dan frekuensi yang bergantung pada impedance.

$$Z_{IN}(A, \omega) = R_{IN}(A, \omega) + jX_{IN}(A, \omega) \quad (...1)$$

Dimana A adalah amplitude dari arus (t),

$$R_{IN}(A, \omega) < 0$$

Osilator dibentuk dengan menghubungkan device ke passive impedance ditunjukkan dengan

$$Z_L(\omega) = R_L(\omega) + jX_L(\omega) \quad (...2)$$

Circuit akan beresilasi pada frekuensi dan amplitude saat

$$Z_{IN}(A_o, \omega_o) + Z_L(\omega_o) = 0 \quad (...3)$$

Substitusikan persamaan 1 dan 2 ke 3. Maka dapat ditulis sebagai

$$R_{IN}(A_o, \omega_o) + R_L(\omega_o) = 0 \quad (...4)$$

dan

$$X_{IN}(A_o, \omega_o) + X_L(\omega_o) = 0 \quad (...5)$$

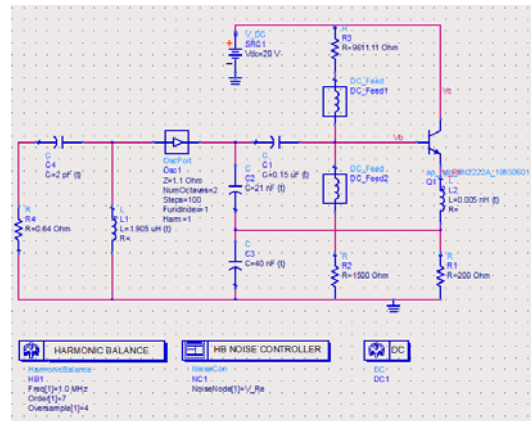
jika

$$R_L(\omega) + R_{IN}(A, \omega) < 0 \quad (...6)$$

osilasi menjadi tidak stabil dan amplitudanya naik.

Perancangan collpits osilator dengan metode negative-resistance yang diusulkan memiliki perbedaan dengan adanya tambahan komponen induktor pada kaki emitter transistor dan kapasitor yang dipasang seri dengan collpits. Untuk mendapatkan output dengan frekuensi kerja 1 MHz

penggunaan transistor NPN switching tipe 2N2222A dibias pada tegangan 10 V, dan arus 10 mA. Gambar rangkaian osilator ditunjukkan seperti berikut :



Gambar 5. Simulasi rancangan rangkaian collpits osilator menggunakan metode resistansi-negatif pada ADS.

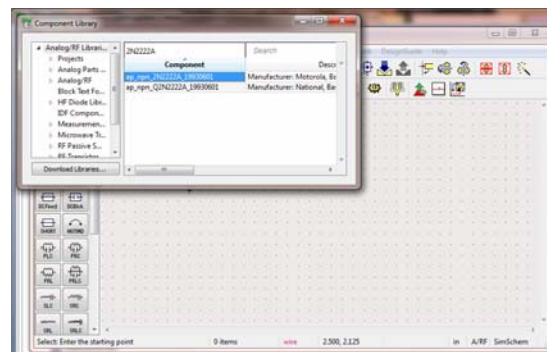
Pada rancangan ini untuk mencari dimensi resonatornya digunakan metode resistansi negatif dengan grounded pada base, sedangkan seluruh rangkaian ini disimulasikan dengan perangkat lunak Advanced Design System (ADS).

**Spesifikasi :** Rancangan collpits osilator yang diusulkan memiliki spesifikasi kerja sebagai berikut :

1. Frekuensi kerja 1 MHz
2. Phase noise maksimal -100 dBc/Hz pada 100 kHz
3. Power pada fundamental minimal 20 dBm
4. Power pada harmonik maksimal -5 dBm

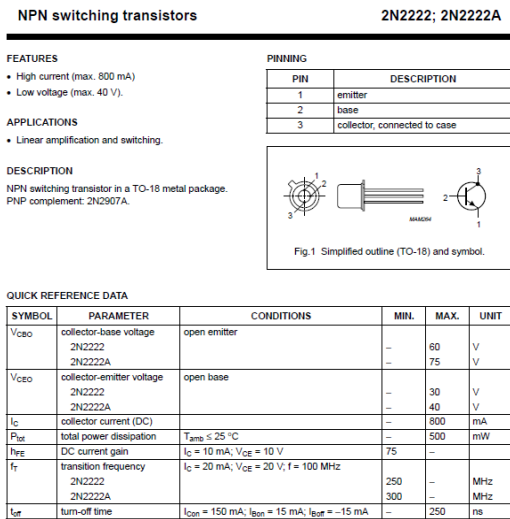
**Pemilihan transistor :** Untuk aplikasi osilator pada frekuensi microwave, pada umumnya digunakan transistor tipe *silicon bipolar* (BJT) atau *GaAs field effect transistor* (FET). Untuk desain osilator, penggunaan BJT menjadi keunggulan tersendiri, karena BJT memiliki *phase noise* yang lebih rendah dibandingkan dengan transistor jenis yang lain, walaupun BJT hanya dapat bekerja optimal dibawah 6 GHz, untuk aplikasi pada frekuensi diatas 6 GHz sebaiknya digunakan GaAs transistor [10].

Transistor yang digunakan yaitu transistor NPN switching tipe 2N2222A.



Gambar 6. Pemilihan transistor 2N2222A pada library ADS

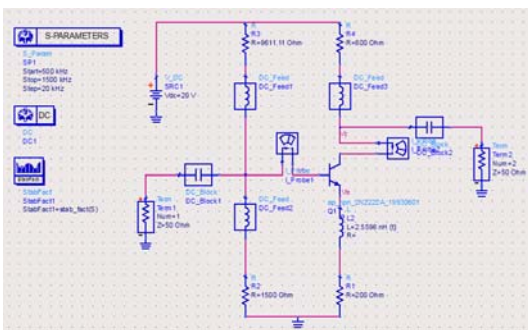
DC bias sebesar Vcc = 20V, Vce = 10V, dan Ic = 10 mA. Penggunaan transistor NPN switching tipe 2N2222A diharapkan membuat rancangan dapat bekerja stabil dengan phase noise yang rendah.



Gambar 7. Datasheet transistor NPN switching tipe 2N2222A.

Perbedaan utama dengan rangkaian yang sebelumnya terletak pada tambahan komponen induktor di kaki emitter dan kapasitor yang dipasang seri dengan collpits. Penambahan komponen ini diharapkan dapat memperbesar nilai power fundamental dan memperkecil phase noise.

**DC Bias Transistor** : perancangan bias transistor ini menggunakan voltage-divider DC bias transistor.



Gambar 8. Biasing Transistor

Perancangan ini memiliki spesifikasi sebesar V<sub>cc</sub> = 20V, V<sub>ce</sub> = 10V, β = 75, dan I<sub>c</sub> = 10 mA sehingga didapat,

$$V_E = \frac{1}{10} V_{CC}$$

$$= 1/10 (20V) = 2V$$

$$V_B = V_{BE} + V_E$$

$$= 0.7V + 2V = 2.7V$$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \cong \frac{V_E}{I_C}$$

$$= 2V / 10 \text{ mA} = 200 \Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C}$$

$$= \frac{20V - 10V - 2V}{10 \text{ mA}} = 800 \Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{10} \beta R_E$$

$$= 1/10 (75) (200\Omega) = 1500 \Omega$$

$$R_1 = \frac{V_{CC}R_2 - V_B R_2}{V_B}$$

$$= \frac{(20V)(1500\Omega) - (2.7)(1500\Omega)}{2.7V}$$

$$= 9611.11 \Omega$$

Salah satu syarat rangkaian osilator ialah stabfaktor (K) memiliki nilai kurang dari 1, berikut ini tabel hasil biasing transistor :

I_Probe1.i	I_Probe2.i	Vb	Vc
37.09 uA	9.792 mA	2.652 V	12.17 V

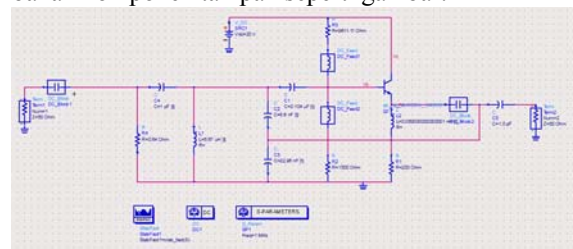
Ve	Vce	freq	StabFact1
1.966 V	10.201	1.000 MHz	0.020

Gambar 10. Tabel hasil biasing transistor

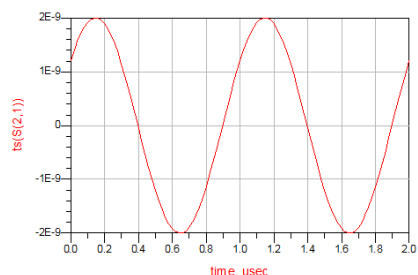
**Kestabilan transistor** : Setelah membuat DC bias transistor, untuk aplikasi osilator, kondisi yang dipilih yaitu common-base agar nilai stability faktor (K) kurang dari satu, atau potentially unstable sebagai salah satu syarat agar suatu rangkaian dapat berosilasi.

### III. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Pada bab ini akan dibahas kinerja dari collpits osilator yang didesain menggunakan ADS. Rangkaian lengkap tanpa tambahan komponen tampak seperti gambar.



Gambar 11. Perancangan rangkaian collpits osilator



freq	S(1,1)	S(2,2)
1.000 MHz	-0.975 -j1.004E-7	1.000 -j6.283E-4

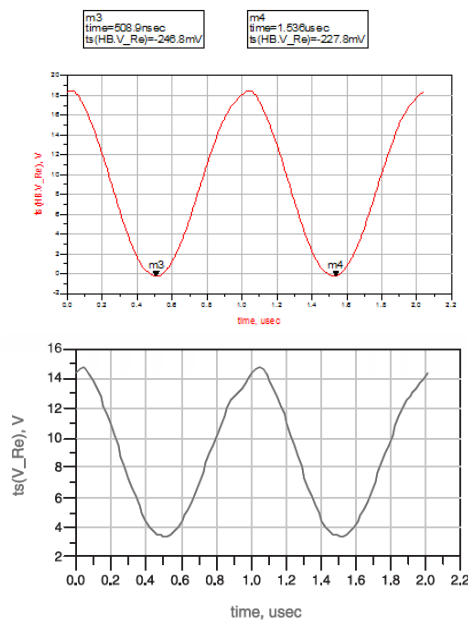
StabFact1
-1.019E9

Gambar 12. Hasil simulasi S-Parameter perancangan collpits osilator

Pada simulasi S-Parameter diatas dapat dilihat pada frekuensi 1 MHz nilai stabfactor sebesar -1.019E9, dengan kata lain sudah memenuhi syarat osilasi yaitu kurang dari 1.

Berikut hasil perbandingan output rancangan dengan output referensi :

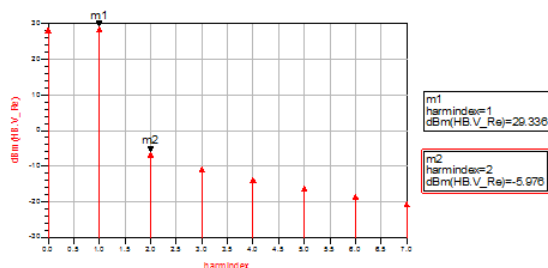




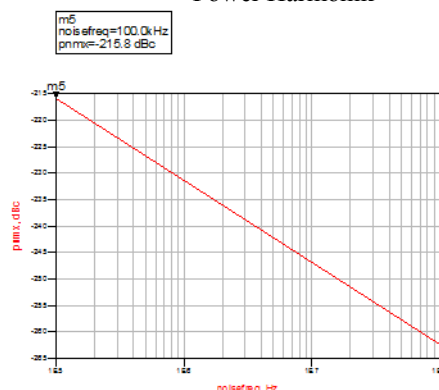
Gambar 13. Perbandingan gelombang output dari perancangan dan referensi

Dari gambar diatas terlihat bahwa rangkaian colpits osilator dengan penambahan komponen induktor di kaki emitter dan kapasitor yang dipasang seri dengan colpits memberikan hasil lebih baik.

**Power fundamental, Power Harmonik dan Noise:** Berikut hasil simulasi power fundamental, power harmonik, dan noise dari rangkaian colpits osilator yang diusulkan.



Gambar 14. Hasil simulasi Power fundamental dan Power Harmonik



Gambar 15. Hasil simulasi phase noise

Dari data pada gambar diatas, dapat dilihat Power fundamental yang dihasilkan sebesar 29.336 dBm, power harmonik sebesar -6.976 dBm, dan phase noise sebesar -215.8 dBc. Penggunaan rangkaian seri untuk ZL sesuai dengan jalannya negative-resistance. Gambar diatas

menunjukkan simulasi menggunakan OscPort dan hasil datanya. Frekuensi osilasi fundamental adalah pada 973.615,0326 Hz atau 0.973 MHz mendekati 1 MHz.

Feedback dikembangkan dengan menggunakan “medan elektrostatik” melalui jaringan pembagi kapasitor. Frekuensi ditentukan oleh dua kapasitor terhubung seri. Transistor dihubungkan dengan konfigurasi voltage divider.

Tegangan basis diberikan oleh  $R_1$  dan  $R_2$  sedangkan untuk emiter diberikan oleh  $R_4$ . Kolektor diberi  $R_3$  dan dihubungkan ke bagian positif dari  $V_{CC}$ . Namun dengan adanya beban pada collector ini, gain output menjadi lebih kecil. Maka  $R_3$  dihilangkan untuk memperbesar gain.

Ketika daya DC diberikan pada rangkaian, arus mengalir dari bagian negatif  $V_{CC}$  melalui  $R_4$  dan  $Q_1$ . Arus  $I_C$  yang mengalir melalui  $R_3$  menyebabkan penurunan tegangan  $V_C$  dengan harga positif. Tegangan yang berubah ke arah negatif ini dikenakan ke bagian atas  $C_1$  melalui  $C_3$ . Bagian bawah  $C_2$  bermuatan positif dan Rangkaian Osilator tertambahkan ke tegangan basis dan menaikkan harga  $I_B$ . Transistor  $Q_1$  akan semakin berkonduksi sampai pada titik jenuh.

Saat  $Q_1$  sampai pada titik jenuh maka tidak ada lagi kenaikan  $I_C$  dan perubahan  $V_C$  juga akan terhenti. Tidak terdapat balikan ke bagian atas  $C_2$ .  $C_1$  dan  $C_2$  akan dilucuti lewat  $L_1$  dan selanjutnya medan magnet di sekitarnya akan menghilang. Arus pengosongan tetap berlangsung untuk sesaat. Keping  $C_2$  bagian bawah menjadi bermuatan negatif dan keping  $C_1$  bagian atas bermuatan positif. Ini akan mengurangi tegangan maju  $Q_1$  dan  $I_C$  akan menurun. Harga  $V_C$  akan mulai naik. Kenaikan ini akan diumpungkan kembali ke bagian atas keping  $C_1$  melalui  $C_3$ .  $C_1$  akan bermuatan lebih positif dan bagian bawah  $C_2$  menjadi lebih negatif. Proses ini terus berlanjut sampai  $Q_1$  sampai pada titik *cutoff*. Saat  $Q_1$  sampai pada titik *cutoff*, tidak ada arus  $I_C$ . Tidak ada tegangan feedback ke  $C_1$ . Gabungan muatan yang terkumpul pada  $C_1$  dan  $C_2$  dilucuti melalui  $L_1$ . Arus pelucutan mengalir dari bagian bawah  $C_2$  ke bagian atas  $C_1$ . Muatan negatif pada  $C_2$  secepatnya akan habis dan medan magnet di sekitar  $L_1$  akan menghilang. Arus yang mengalir masih terus berlanjut. Keping  $C_2$  bagian bawah menjadi bermuatan positif dan keping  $C_1$  bagian atas bermuatan negatif. Tegangan positif pada  $C_2$  menarik  $Q_1$  dari daerah daerah *cutoff*. Selanjutnya  $C_1$  akan mulai mengalir lagi dan proses dimulai lagi dari titik ini. Energi balikan ditambahkan ke rangkaian tangki sesaat pada setiap adanya perubahan.

Besarnya feedback pada rangkaian osilator Colpitts ditentukan oleh nilai kapasitansi  $C_1$  dan  $C_2$ . nilai  $C_1$  pada rangkaian ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan  $C_2$  atau  $C_1 < C_2$ . Tegangan pada  $C_1$  lebih besar dibandingkan pada  $C_2$ . Dengan membuat  $C_2$  lebih kecil akan diperoleh tegangan feedback yang lebih besar. Namun dengan menaikkan balikan terlalu tinggi akan mengakibatkan terjadinya distorsi. Biasanya sekitar 10-50% tegangan kolektor dikembalikan ke rangkaian tangki sebagai feedback.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perancangan osilator colpits metode resitansi negative dengan penambahan komponen menghasilkan frekuensi sebesar 0.973 MHz, dengan phase noise sebesar -215.8 dBc/Hz. Power fundamental sebesar 29.336 dBm dan Power harmoniknya -5.976 dBm.

Osilator collpits dengan metode resistansi negative dengan tambahan komponen induktor di kaki emitter dan kapasitor yang dirangkai seri dengan collpits menghasilkan output lebih baik

#### REFERENCES

- [1] Firmansyah, Teguh, "Perancangan dielectric resonator oscillator untuk mobile wimax pada frekuensi 2.3 GHz dengan penambahan coupling", Universitas Indonesia, Juni 2010.
- [2] Gonzales, Guillermo, "Foundations of Oscillator Circuit Design", Norwood, 2007.
- [3] Hang Tony, Cheng Sin. The Design of 2.4 GHz Bipolar Oscillator by Using the Method of Negative Resistance. The Chinese University of Hong Kong, September 2001.
- [4] D.M. Pozar, "Microwave engineering", 2nd Edition, 1998 John-Wiley & Sons.
- [5] J. Millman, C. C. Halkias, "Integrated electronics", 1972, McGraw-Hill.
- [6] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF circuit design - theory and applications", 2000 Prentice-Hall.
- [7] B. Razavi, "RF microelectronics", 1998 Prentice-Hall, TK6560.
- [8] J. R. Smith, "Modern communication circuits", 1998 McGraw-Hill.
- [9] P. H. Young, "Electronics communication techniques", 5<sup>th</sup> edition, 2004 Prentice-Hall.
- [10] Gilmore R., Besser L., "Practical RF circuit design for modern wireless systems", Vol. 1 & 2, 2003, Artech House.
- [11] Ogata K., "Modern control engineering", 4<sup>th</sup> edition, 2005, Prentice-Hall.

# Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Dengan Memanfaatkan Saluran Irigasi Di Desa Kadu Beureum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang

Heri Haryanto<sup>1)</sup>, Dedy Susanto<sup>2)</sup>, Rian Fahrizal<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup> Departemen Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
 Cilegon-Indonesia 42412

e-mail : elektrojos@yahoo.com; dedysusanto500@rocketmail.com; rianef@yahoo.com

**Abstrak-**Pikohidro adalah pembangkit listrik tenaga air yang mempunyai daya dari ratusan Watt sampai 5 kW. Secara teknis, pikorohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air kincir air sebagai turbin, speed increaser dan generator. Pikohidro dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk mensuplai beban energi listrik yang letaknya berada jauh dari jangkauan saluran distribusi energi listrik. Potensi alam yang dapat dijadikan suatu pembangkit pikohidro adalah aliran irigasi yang berada di Desa Kadu Bereum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang. Dengan debit air sebesar  $0,2017 \text{ m}^3/\text{det}$ , menggunakan kincir air undershoot, transmisi mekanik speed increaser tipe multiple dua rangkaian dan motor induksi 3 Fasa 550 Watt sebagai generator induksi 1 fasa. Dari hasil pengujian diperoleh efisiensi kincir air 81,2%, efisiensi speed increaser 91,2% dan efisiensi maksimal generator saat menggunakan kapasitor  $C_1 = 8 \mu\text{F}$  dan  $C_2 = 16 \mu\text{F}$ , diperoleh efisiensi maksimum sebesar 36,20% pada saat kondisi beban 125 watt dengan tegangan sebesar 136 volt. Saat generator menggunakan kapasitor  $C_1 = 5 \mu\text{F}$  dan  $C_2 = 10 \mu\text{F}$ , diperoleh efisiensi maksimum sebesar 30,71% pada saat kondisi beban 145 watt dengan tegangan sebesar 100 volt. Saat generator menggunakan kapasitor  $C_1 = 5 \mu\text{F}$  dan  $C_2 = 12 \mu\text{F}$ , diperoleh efisiensi maksimum sebesar 43,57% pada saat kondisi beban 185 watt dengan tegangan sebesar 114 volt.

**Kata kunci:** Pikohidro, Kincir Air, Speed Inceaser, Generator Induksi 1 Fasa

## I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu bentuk dari energi yang vital peranannya bagi kehidupan manusia, akan tetapi hingga saat ini ketimpangan (gap) antara kebutuhan penggunaan energi dengan suplai energi yang dihasilkan masih terjadi. Sebagai contoh adalah energi listrik di Pulau Jawa dan luar Jawa. Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyebutkan rasio elektrifikasi penggunaan energi listrik di Indonesia mencapai 67%. Ini berarti 33% rumah tangga di Indonesia belum teraliri listrik. Penyebab masih banyaknya rumah tangga tersebut belum

teraliri listrik salah satunya adalah letak geografis daerah yang berada jauh dari jangkauan saluran distribusi energi listrik.

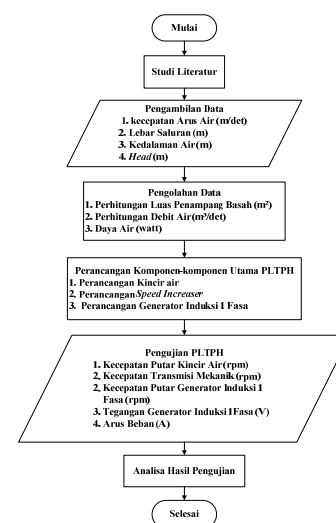
Sementara potensi energi terbarukan, dalam hal ini air ketersediaannya begitu besar dari mulai sungai sampai saluran irigasi persawahan belum mampu dimaksimalkan penggunaannya sebagai sumber energi alternatif, sebagai contoh di Desa Kadu Bereum Kecamatan Padarincang memiliki potensi air yang melimpah akan tetapi disisi lain masih terdapat beberapa rumah tangga yang belum teraliri energi listrik karena letaknya yang jauh dari jangkauan saluran distribusi energi listrik.

Berangkat dari permasalahan yang ada, maka pada penelitian ini dilakukan perancangan sertam membangun pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) yang dapat dijadikan sebagai sumber energi alternatif.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

Penelitian dilakukan di Medan. Adapun diagram alir kerjanya seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian.

### B. Pengukuran Data.

Kabupaten Serang termasuk daerah yang mempunyai

Sumber daya air yang melimpah, dari mulai aliran sungai besar, sumber mata air sampai saluran irigasi persawahan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan rancang bangun PLTPH yang dilakukan pada saluran irigasi di Desa Kadu Beureum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian.

Adapun data yang diperoleh seperti terlihat pada Tabel 1 adalah data pengukuran secara langsung pada saluran irigasi seperti terlihat pada Gambar 3 yang dilakukan sesuai dengan standar SNI 03-2414-199.



Gambar 3. Saluran Irigasi.

Untuk mencari debit air dapat menggunakan persamaan:

$$Q = A \times v \tag{1}$$

Dengan luas penampang basah:

$$A = B \times C \tag{2}$$

Keterangan :

- A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>)
- v = kecepatan aliran air (m/det)
- B = Lebar saluran irigasi (m)
- C = Kedalaman air (m)
- Q = Debit air (m<sup>3</sup>/det)

Tabel 1. Data Pengukuran Potensi Air.

Titik ke-	Pengukuran				
	Kecepatan Arus Air (m/det)	Kedalaman Air (m)	Lebar Saluran (m)	Debit Air (m <sup>3</sup> /det)	Head (m)
1	2,5	0,2	1,45	0,725	0,1
2	2,52	0,2	1,45	0,7308	
3	2,52	0,2	1,45	0,7308	
4	2,53	0,2	1,45	0,7337	
5	2,53	0,2	1,45	0,7337	
6	2,53	0,2	1,45	0,7337	
□	2,5217	0,2	1,45	0,7313	0,1

Sehingga dengan menggunakan debit rata-rata pada saluran irigasi diperoleh daya air menggunakan persamaan:

$$P = \rho \times g \times Q \times h \tag{3}$$

Keterangan :

- P = Daya air secara teoritis (Watt)
- ρ = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- g = Kecepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)
- Q = Debit air (m<sup>3</sup>/det)
- h = Head (m)

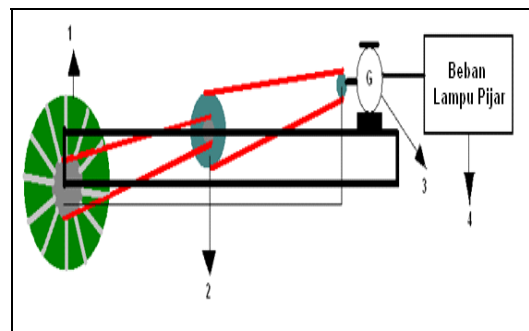
C. Perancangan Alat.

Pada penelitian ini perancangan alat meliputi penentuan spesifikasi komponen-komponen utama PLTPH seperti:

1. Kincir Air
2. Speed Increaser
3. Generator Induksi 1 Fasa

Desain pikohidro yang digunakan adalah *Pico Power Pack* dengan menggunakan rangka baja sebagai dudukan komponen-komponen utama PLTPH pada saluran irigasi. [1]

Adapun letak komponen-komponen PLTPH seperti terlihat pada Gambar 4 dibawah ini:



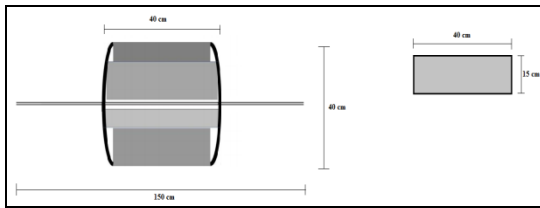
Gambar 4. Perancangan Sistem PLTPH.

- 1) erancangan Kincir Air.  
Kincir air berfungsi untuk merubah energi air menjadi energi mekanik yaitu berupa putaran pada kincir air, pada penelitian ini digunakan kincir air tipe *undershoot* hal ini dikarenakan kincir air tipe ini adalah tipe yang memungkinkan untuuk digunakan pada saluran irigasi yang menjadi lokasi penelitian. Adapun spesifikasi dari kincir air seperti yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Kincir Air.

Spesifikasi Kincir Air	
Tipe	Kincir air <i>undershoot</i>
Jumlah sudu-sudu kincir air	12 buah
Bahan dasar	Plat Besi
Panjang kincir air	40 cm
Diameter kincir air	40 cm
Panjang bilah	40 cm
Lebar bilah	10 cm

Adapun gambar rancangan kincir air seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kincir Air Tipe *Undershoot*

Gaya adalah besarnya usaha yang dibutuhkan tiap jarak yang ditempuh. Menghitung gaya untuk memutar kincir dipengaruhi oleh luas penampang sudu dan kecepatan air pada saluran. [3]

$$F = \frac{\rho \times a \times v^2}{2g} \tag{4}$$

Keterangan :

- $F$  = Gaya untuk kincir air (N)
- $g$  = Kecepatan gravitasi (m/det<sup>2</sup>)
- $a$  = Luas Sudu Kincir Air (m<sup>2</sup>)
- $v$  = Kecepatan Air (m/det)

Dengan  $a$ :

$$a = b \times c \tag{5}$$

Dengan:

- $a$  = Luas dinding sudu kincir air (m<sup>2</sup>)
- $b$  = Lebar bilah kincir air (m)
- $c$  = panjang bilah kincir air (m)

Torsi adalah hasil kali gaya dengan lengan. Kincir air merupakan sarana untuk merubah tenaga air menjadi energi mekanik (gerak putar ) berupa torsi pada poros kincir. Torsi yang dihasilkan oleh kincir dipengaruhi gaya untuk memutar kincir air dan jari-jari kincir air.

Maka diperoleh persamaan torsi kincir yang dapat dituliskan sebagai berikut;

$$T = F \times r \tag{6}$$

Keterangan :

- $T$  = Torsi kincir air (kg.m)
- $F$  = Gaya kincir air (kg)
- $r$  = Jari-jari kincir air (m)

Sedangkan untuk putaran kincir air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan: [3]

$$n = \frac{U \times 60}{\pi \times D} \tag{7}$$

Dengan :

- $n$  = Putaran kincir air (rpm)
- $D$  = Diameter kincir air (m)

$$U = \frac{v}{2} \text{ (m/det)} \tag{8}$$

Sehingga diperoleh daya output kincir air dengan menggunakan persamaan:

$$P_{out} = \frac{2\pi \times n \times T}{60} \tag{8}$$

Dengan:

$P_{out}$  = Daya yang dihasilkan oleh kincir air (watt)

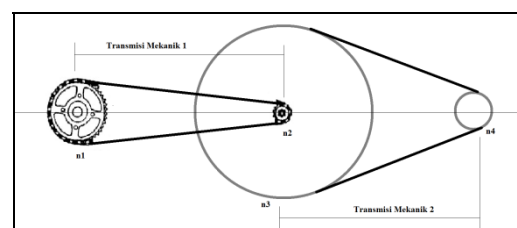
2) *Speed Increaser*.

*Speed increaser* adalah adalah suatu sistem transmisi mekanik yang digunakan untuk mentransmisikan daya atau putaran dari suatu poros menuju ke poros lainnya. Adapun spesifikasi dari *speed increaser* yang digunakan pada penelitian ini seperti terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi *Speed Increaser*.

Spesifikasi Speed Increaser	
Transmisi Mekanik 1:	
Bahan Pembuatan	Besi
Jenis	<i>Gear &amp; Rantai</i>
Jumlah gigi sprocket <i>driver</i> ( $Z_1$ )	60
Jumlah gigi sprocket <i>driven</i> ( $Z_2$ )	10
Transmisi Mekanik 2 :	
Bahan Pembuatan	Alluminium
Jenis	Puli V
Dimeter puli <i>driver</i> ( $D_f$ )	400 mm
Dimeter puli <i>driven</i> ( $d_f$ )	90 mm
Jenis sabuk	<i>V-Belt</i>

Untuk gambar perancangan *speed increaser* seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Speed Increaser*.

Kecepatan putaran  $n_2$  dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$n_2 = \frac{Z_1}{Z_2} \times n_1 \quad (9)$$

Kerana  $Z_2$  satu poros dengan  $D_P$  sehingga kecepatan putar  $n_2 = n_3$ , maka diperoleh kecepatan putar  $n_4$  menggunakan persamaan:

$$n_4 = \frac{D_P}{d_P} \times n_3 \quad (10)$$

Keterangan :

$Z_1$  = Jumlah gigi *sprocket driver*

$Z_2$  = Jumlah gigi *sprocket driven*

$D_P$  = Diameter puli *driver* (mm)

$d_P$  = Diameter puli *driven* (mm)

$n_1$  = putaran *sprocket driver* (rpm)

$n_2$  = putaran *sprocket driven* (rpm)

$n_3$  = putaran puli *driver* (rpm)

$n_4$  = putaran puli *driven* (rpm)

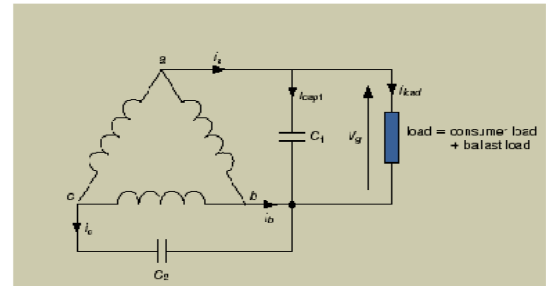
### 3) Generator Induksi 1 Fasa.

Generator adalah suatu alat yang berfungsi untuk merubah energi mekanik berupa putaran (gerak) pada poros menjadi energi listrik. Pada penelitian ini menggunakan motor induksi 3 fasa sebagai generator induksi 1 fasa. Adapun spesifikasi dari motor induksi 3 fasa yang digunakan seperti terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa.

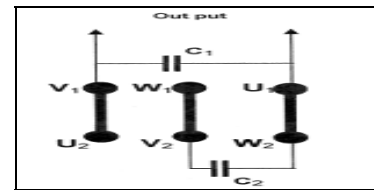
Spesifikasi Motor Induksi 3 Fasa	
Tegangan	220/380 Volt
Putaran	1400 rpm
Faktor daya	0,75
Arus nominal	1,52 Ampere
Daya	0,75 Hp / 0,55 kW

Untuk dapat berfungsi sebagai generator, disamping slip dibuat negatif atau dengan kata lain kecepatan putar rotor ( $n_r$ ) dibuat lebih besar dari kecepatan medan putar ( $n_s$ ) juga dibutuhkan sumber tegangan kapasitif yang akan menginduksikan arus ke rotor untuk keperluan exitasi seperti yang terlihat pada Gambar 7. Exitasi rotor menimbulkan medan magnet yang akan memotong belitan konduktor pada stator sehingga menghasilkan tegangan *output* generator. Tegangan kapasitif dihasilkan oleh kondensator yang dipasang secara paralel dengan beban generator. [6]



Gambar 7. Hubungan Generator 1 Fasa Dari Motor 3 Fasa.

Adapun hubungan antara terminal motor induksi 3 fasa dengan kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  seperti terlihat pada Gambar 8. [6]



Gambar 8. Hubungan Kapasitor Dengan Terminal Motor Induksi 3 Fasa Yang Terhubung Delta ( $\Delta$ ).

## III. HASIL DAN ANALISA.

### A. Potensi Air.

Untuk menentukan potensi daya air yang terdapat pada saluran irigasi digunakan persamaan 3 dengan menggunakan data debit air rata-rata dan head yang terdapat pada Tabel 1. Sehingga daya air yang tersedia adalah:

$$\begin{aligned} P &= \rho \times g \times Q \times h \\ &= 1000 \times 9,81 \times 0,7313 \times 0,1 \\ &= 717,4053 \text{ Watt} \end{aligned}$$

### B. Hasil Pengujian.

Pada penelitian ini dilakukan pengujian komponen-komponen utama PLTPH seperti pengujian kincir air, pengujian *speed increaser* dan pengujian generator induksi 1 fasa serta pengujian secara menyeluruh komponen-komponen utama PLTPH tersebut sebagai PLTPH di saluran irigasi.

#### 1) Pengujian Kincir Air.

Pengujian kecepatan putaran kincir air seperti yang terlihat pada Gambar 9 (a) dilakukan di saluran irigasi, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan kincir air tipe *undershoot* seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 (b) sebagai penggerak pada PLTPH. Pengujian dilakukan menggunakan kincir air jenis *undertshot*, hal tersebut dibuat karena sesuai dengan kondisi dari aliran air, selain itu dalam konstruksinya lebih mudah. Pada pengujian kincir air ini dilakukan dengan debit air yang terukur sebesar 0,7313 m<sup>3</sup>/dt dengan kecepatan air mencapai 2,5217 m/det dan putaran turbin yang didapat sebesar 59 rpm. Pengukuran kecepatan kincir air diukur dengan menggunakan alat ukur *tachometer*.



Gambar 9. (a) Kincir Air Tipe *Undershoot* Dan (b) Pengujian Kincir Air.

2) Pengujian *Speed Increaser*.

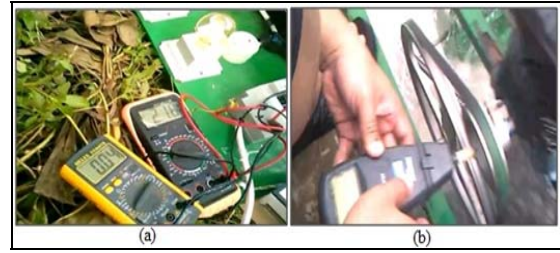
Dengan kecepatan putaran kincir air yang di dapat sebesar 59 rpm, maka tidak memungkinkan generator induksi 1 fasa dapat menghasilkan tegangan. Untuk itu diperlukan sebuah *Speed Increaser* yang berfungsi untuk meningkatkan kecepatan putaran sehingga minimal generator induksi 1 fasa dapat mengeluarkan tegangan yang dibutuhkan, dengan menggunakan *speed increaser* 2 rangkaian seperti terlihat pada Gambar 10 (a) kecepatan putaran kincir air sebesar 59 rpm tersebut dapat ditingkatkan menjadi 1281 rpm. Pengukuran kecepatan *speed increaser* diukur dengan menggunakan alat ukur *tachometer* seperti yang terlihat pada Gambar 10 (b).



Gambar 10. (a) Transmisi Mekanik *Speed Increaser* 2 Rangkaian Dan (b) Pengujian *Speed Increaser*.

3) Pengujian Generator Induksi 1 Fasa.

Pengujian generator induksi 1 fasa pada saluran irigasi seperti yang terlihat pada Gambar 11, dilakukan dengan cara mengukur kecepatan putaran generator induksi 1 fasa menggunakan *tachometer* seperti terlihat pada Gambar 11 (b), kemudian kecepatan putaran generator induksi 1 fasa dibandingkan dengan tegangan keluaran generator induksi 1 fasa yang diukur menggunakan voltmeter dan arus beban yang diukur menggunakan ampere meter seperti yang terlihat pada Gambar 11 (a), berdasarkan perubahan beban, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui unjuk kerja dari generator induksi 1 fasa.



Gambar 11 (a) Pengukuran Arus Beban Dan Tegangan Generator 1 Fasa Dan (b) Pengukuran Kecepatan Putaran Generator 1 Fasa .

Adapun pengujian generator induksi 1 fasa dilakukan dengan susunan kapasitor:

$$C_1 = 8 \mu F \text{ dan } C_2 = 10 \mu F$$

$$C_1 = 5 \mu F \text{ dan } C_2 = 10 \mu F$$

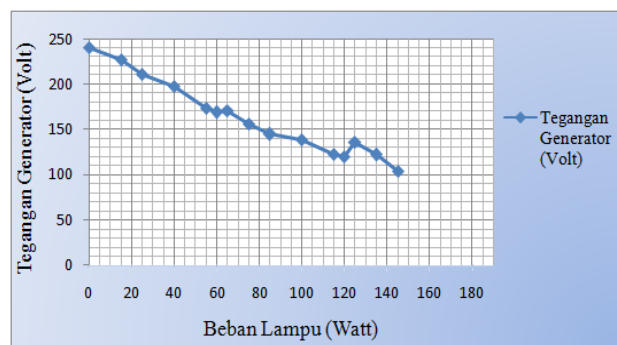
$$C_1 = 5 \mu F \text{ dan } C_2 = 12 \mu F$$

a. Pengujian Generator Dengan Kapasitor

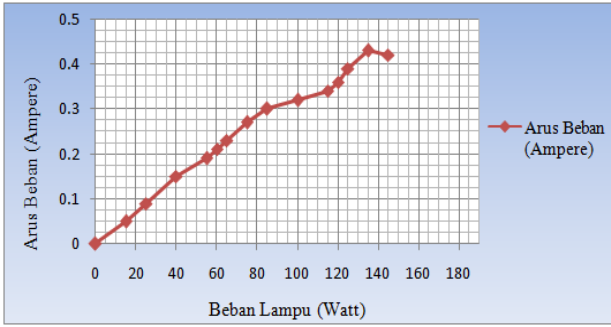
$$C_1 = 8 \mu F \text{ dan } C_2 = 10 \mu F$$

Tabel 5 Hasil Pengujian Generator ( $C_1 = 8 \mu F$  dan  $C_2 = 10 \mu F$ ).

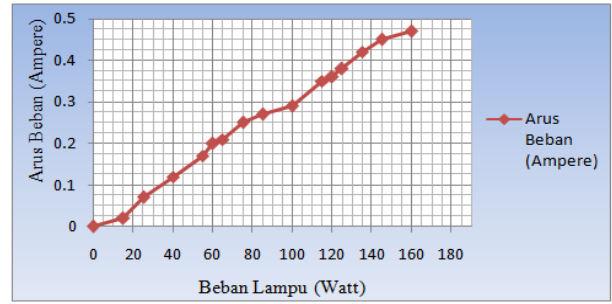
No	Beban Lampu (W)	$V_g$ (V)	$I_{load}$ (A)	P (W)
1	0	241	0	0
2	15	227	0,05	11,35
3	25	211	0,09	18,99
4	40	198	0,15	29,7
5	55	174	0,19	33,06
6	60	169	0,21	35,49
7	65	171	0,23	39,33
8	75	156	0,27	42,12
9	85	145	0,30	43,5
10	100	139	0,32	44,48
11	115	123	0,34	41,82
12	120	120	0,36	43,2
13	125	136	0,39	53,04
14	135	122	0,43	52,46
15	145	104	0,42	43,68



Gambar 12. Grafik Tegangan Generator Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 8 \mu F$  dan  $C_2 = 10 \mu F$ .



Gambar 13. Grafik Arus Beban Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 8\mu F$  dan  $C_2 = 16\mu F$ .



Gambar 15. Grafik Arus Beban Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F$ .

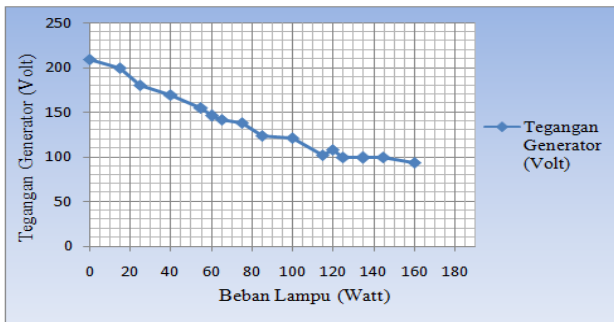
b. Pengujian Generator Dengan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F$ .

Tabel 6. Hasil Pengujian Generator ( $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F$ ).

No	Beban Lampu (W)	$\overline{V_2}$ (V)	$\overline{I_{load}}$ (A)	P (Watt)
1	0	209	0	0
2	15	199	0,02	3,98
3	25	180	0,07	12,6
4	40	169	0,12	20,28
5	55	155	0,17	26,35
6	60	146	0,2	29,2
7	65	142	0,21	29,82

Lanjutan Tabel 6.

8	75	138	0,25	34,5
9	85	124	0,27	33,48
10	100	121	0,29	35,09
11	115	102	0,35	35,7
12	120	108	0,36	38,88
13	125	100	0,38	38
14	135	99	0,42	41,58
15	145	100	0,45	45
16	160	94	0,47	44,18

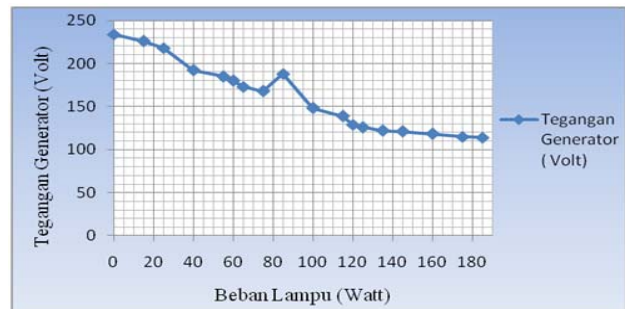


Gambar 14. Grafik Tegangan Generator Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F$ .

c. Pengujian Generator Dengan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F$ .

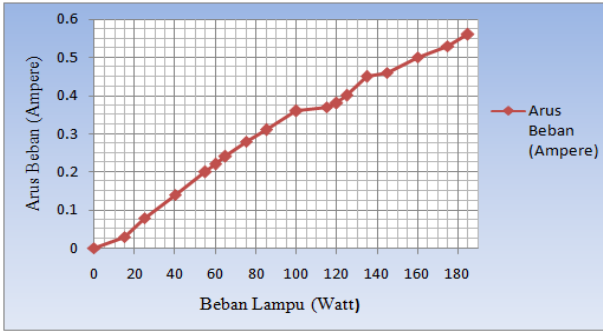
Tabel 7. Hasil Pengujian Generator ( $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F$ ).

No	Beban Lampu (W)	$\overline{V_2}$ (V)	$\overline{I_{load}}$ (A)	P (W)
1	0	234	0	0
2	15	226	0,03	6,78
3	25	218	0,08	17,44
4	40	192	0,14	26,88
5	55	185	0,20	37
6	60	180	0,22	39,6
7	65	173	0,24	41,52
8	75	168	0,28	47,04
9	85	188	0,31	58,28
10	100	148	0,36	53,28
11	115	139	0,37	51,43
12	120	129	0,38	49,02
13	125	126	0,4	50,4
14	135	122	0,45	54,9
15	145	121	0,46	55,66
16	160	118	0,5	59
17	175	115	0,53	60,95
18	185	114	0,56	80,64



Gambar 16. Grafik Tegangan Generator Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F$ .





Gambar 17. Grafik Arus Beban Terhadap Perubahan Beban Saat Menggunakan Kapasitor  $C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F$ .

C. Pengujian PLTPH.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa pengujian PLTPH, yaitu pengujian seluruh komponen-komponen utama PLTPH seperti kincir air, speed increaser dan generator induksi 1 fasa dengan beberapa kombinasi nilai kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$ , yaitu:  $(C_1 = 8\mu F$  dan  $C_2 = 16\mu F)$ ,  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F)$  dan  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F)$  disaluran irigasi yang berada di Desa Kadu Bereum Kecamatan Padarincang Kabupaten Serang. komponen-komponen utama PLTPH tersebut dipasang pada saluran irigasi dengan desain *pico power pack* seperti terlihat pada Gambar 18.



Gambar 4.11 Pengujian PLTPH Di Saluran Irigasi.

a. Pengujian PLTPH Dengan Kapasitor  $C_1 = 8\mu F$  dan  $C_2 = 16\mu F$ .

Tabel 8. Hasil Pengujian PLTPH  $(C_1 = 8\mu F$  dan  $C_2 = 16\mu F)$ .

No	Beban Lampu (W)	$n_x$ (rpm)	$n_1$ & $n_2$ (rpm)	$n_3$ (rpm)	$V_g$ (V)	$I_{load}$ (A)	Frekuensi (Hz)
1	0	47,4	282,8	1132	241	0	37,73
2	15	47,4	282,8	1097	227	0,05	36,57
3	25	47,6	280	1101	211	0,09	36,7
4	40	47,3	277,8	1133	198	0,15	37,77
5	55	46,4	275,7	1100	174	0,19	36,67
6	60	44,9	254,3	1092	169	0,21	36,4

7	65	44,7	276,4	1100	171	0,23	36,67
8	75	46,8	278,4	1113	156	0,27	37,1
9	85	47,3	280,7	1103	145	0,30	36,77
10	100	49,9	281,2	1110	139	0,32	36,67
11	115	51,9	287,2	1129	123	0,34	37,63
12	120	51,3	282,1	1124	120	0,36	37,47
13	125	52,6	287,5	1150	136	0,39	38,33
14	135	52,9	295,9	1169	122	0,43	38,97
15	145	53,2	297,8	1190	104	0,42	39,67

b. Pengujian PLTPH Dengan Kapasitor  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F)$ .

Tabel 9. Hasil Pengujian PLTPH  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F)$ .

No	Beban Lampu (W)	$n_x$ (rpm)	$n_1$ & $n_2$ (rpm)	$n_3$ (rpm)	$V_g$ (V)	$I_{load}$ (I)	Frekuensi (Hz)
1	0	53,4	287,7	1012	209	0	33,73
2	15	53,4	252,7	992,3	199	0,02	33,08
3	25	44,1	246,1	953,0	180	0,07	31,77
4	40	55,1	225,7	913,8	169	0,12	30,46
5	55	54,1	245,2	989,5	155	0,17	32,98
6	60	44,5	243,5	985,4	146	0,2	32,85
7	65	43,5	246,3	966,7	142	0,21	32,22
8	75	45,6	248,6	988,6	138	0,25	32,95
9	85	43,0	247,7	916,4	124	0,27	30,55
10	100	46,9	249,8	929,4	121	0,29	30,98
11	115	43,1	246,2	923,6	102	0,35	30,79
12	120	43,3	247,2	948,7	108	0,36	31,62
13	125	44,9	268,5	1058	100	0,38	35,27
14	135	44,6	252,1	1044	99	0,42	34,8
15	145	55,5	256,5	1087	100	0,45	36,23
16	160	50,1	282,8	1098	94	0,47	36,3

c. Pengujian PLTPH Dengan Kapasitor  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 12\mu F)$ .

Tabel 10. Hasil Pengujian PLTPH  $(C_1 = 5\mu F$  dan  $C_2 = 10\mu F)$ .

No	Beban Lampu (W)	$n_x$ (rpm)	$n_1$ & $n_2$ (rpm)	$n_3$ (rpm)	$V_g$ (V)	$I_{load}$ (I)	Frekuensi (Hz)
1	0	55,6	284,7	1231	234	0	41,03
2	15	53,8	228,2	1196	226	0,03	39,87
3	25	52,6	228,2	1115	218	0,08	37,17
4	40	50,3	228,0	1058	192	0,14	35,27
5	55	45,0	227,9	944,6	185	0,20	31,89
6	60	43,6	212,3	923,6	180	0,22	30,79
7	65	42,1	225,5	914,3	173	0,24	30,48
8	75	44,8	233,0	940,9	168	0,28	31,36
9	85	54,6	236,1	1147	188	0,31	38,23
10	100	49,8	235,9	1043	148	0,36	34,77
11	115	48,2	238,2	989,9	139	0,37	32,99
12	120	54,1	241,5	1198	129	0,38	39,93
13	125	49,5	241,2	996,8	126	0,4	33,23
14	135	48,6	233,4	991,2	122	0,45	33,04
15	145	53,8	251,0	1124	121	0,46	37,47
16	160	50,0	255,8	1032	118	0,5	34,4
17	175	56,4	258,0	1240	115	0,53	41,33
18	185	57,3	269,9	1281	114	0,56	42,7

D. Analisa Kerja Komponen-Komponen Utama PLTPH.

1) Analisa Kerja Kincir Air.

Perhitungan debit air rata-rata yang masuk ke kincir air seperti yang terdapat pada Tabel 11. Lebar saluran disesuaikan dengan lebar kinci air dan pengukuran dilakukan pada 6 titik.

Tabel 11. Data Potensi Air Yang Masuk Ke Kincir Air. Pengukuran

Titik ke-	Kecepatan Arus Air (m/det)	Kedalaman Air (m)	Lebar Saluran (m)	Debit Air (m <sup>3</sup> /det)	Head (m)
1	2,5	0,2	0,4	0,2	
2	2,52	0,2	0,4	0,2016	
3	2,52	0,2	0,4	0,2016	
4	2,53	0,2	0,4	0,2024	0,1
5	2,53	0,2	0,4	0,2024	
6	2,53	0,2	0,4	0,2024	
□	2,5217	0,2	0,4	0,2017	0,1

Sehingga dengan menggunakan persamaan 3, daya air yang masuk ke kincir ( $\underline{P_{in}}$ ) adalah:

$$\begin{aligned} P_{in} &= \rho \times g \times Q \times h \\ &= 1000 \times 9,81 \times 0,2017 \times 0,1 \\ &= 197,8677 \text{ watt} \end{aligned}$$

- a) Luas Penampang atau sudu kincir yang terkena air dihitung menggunakan persamaan 5:

$$\begin{aligned} a &= b \times c \\ &= 0,4 \times 0,1 = 0,04 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b) Gaya pada kincir air dihitung menggunakan persamaan 4:

$$\begin{aligned} F &= \frac{\rho \times a \times v^2}{2g} \\ &= \frac{1000 \times 0,04 \times 2,5217^2}{2(9,81)} \\ &= 12,9643 \text{ kg} = 127,1794 \text{ N} \end{aligned}$$

- c) Torsi pada kincir air dihitung menggunakan persamaan 6:

$$\begin{aligned} T &= F \times r \\ &= 127,1794 \times 0,2 = 25,43588 \text{ N.m} \end{aligned}$$

- d) Putaran kincir air dihitung menggunakan persamaan 7:

$$\begin{aligned} n &= \frac{U \times 60}{\pi \times D} \\ &= \frac{1,26085 \times 60}{3,14 \times 0,4} = 60,2317 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Sehingga dengan menggunakan persamaan 8 daya yang dihasilkan oleh kincir air diperoleh sebesar:

$$\begin{aligned} P_{out} &= \frac{2\pi \times n \times T}{60} \\ &= \frac{(2 \times 3,14) \times 60,2317 \times 25,43588}{60} \\ &= 160,3542 \text{ watt} \end{aligned}$$

## 2) Analisa Kerja *Speed Increaser*.

Pada penelitian ini digunakan speed increaser sebagai transmisi mekanik, Transmisi mekanik yang digunakan yaitu transmisi mekanik 2 tingkat atau 2 rangkaian, Rangkaian pertama berupa transmisi mekanik dengan menggunakan Rantai Rol (*pin-connected chains*) yang memiliki efisiensi sebesar 95% - 97%, pada system transmisi ini biasanya efisiensi sistem diasumsikan dengan efisiensi terendah yaitu sebesar 95%. [10]

Sedangkan untuk sistem transmisi mekanik kedua menggunakan puli *v-belt* harga yang ekonomis dan efisiensinya yang tinggi yaitu 95% - 98%, namun yang digunakan pada perhitungan ini dipilih efisiensi yang terendah yaitu 96%. [9]

Dengan menggunakan daya keluaran ( $\underline{P_{out}}$ ) dari kincir air yaitu sebesar 160,3542 watt sebagai daya masukan ( $\underline{P_{in}}$ ) dari speed increaser, maka diperoleh daya keluaran ( $\underline{P_{out}}$ ) pada *speed increase* sebesar:

$$\begin{aligned} P_{out} &= P_{in} \times \eta_{transat} \times \eta_{v-belt} \\ &= 160,3542 \times 0,95 \times 0,96 \\ &= 146,2430 \text{ watt} \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh efisiensi dari *speed increaser* sebesar:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{146,2430}{160,3542} \times 100\% = 91,20\% \end{aligned}$$

## 3) Analisa Kerja Generator Induksi 1 Fasa.

Dengan menggunakan daya *output* dari *speed increaser* sebagai daya masukan generator ( $\underline{P_{in}}$ ) yaitu sebesar 146,2340 watt.

Saat kondisi beban lampu 15 watt pada saat menggunakan kapasitor ( $C_1 = 6 \mu F$  dan  $C_2 = 18 \mu F$ ):

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{11,35}{146,2430} \times 100\% = 7,76\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama seperti saat kondisi beban lampu 15 watt, maka untuk kondisi beban lampu yang lain nilai efisiensi generator induksi 1 fasa dapat dilihat seperti terdapat pada Tabel 12, Tabel 13 dan Tabel 14.

Tabel 12. Efisiensi Generator ( $C_1 = 8 \mu F$  dan  $C_2 = 16 \mu F$ ).

No	Beban Lampu (W)	$V_s$ (Volt)	$I_{maks}$ (A)	P (W)	Efisiensi ( $\eta$ ) (%)
1	0	241	0	0	0
2	15	227	0,05	11,35	7,76
3	25	211	0,09	18,99	12,98
4	40	198	0,15	29,7	20,31
5	55	174	0,19	33,06	22,61
6	60	169	0,21	35,49	24,27
7	65	171	0,23	39,33	26,89
8	75	156	0,27	42,12	28,80
9	85	145	0,30	43,5	29,75
10	100	139	0,32	44,48	30,42
11	115	123	0,34	41,82	28,60
12	120	120	0,36	43,2	29,54
13	125	136	0,39	53,04	36,27
14	135	122	0,43	52,46	35,87
15	145	104	0,42	43,68	29,87

Tabel 13. Efisiensi Generator ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 10 \mu F$ ).

No	Beban Lampu (W)	$V_s$ (Volt)	$I_{maks}$ (A)	P (W)	Efisiensi ( $\eta$ ) (%)
1	0	209	0	0	0
2	15	199	0,02	3,98	2,72
3	25	180	0,07	12,6	8,62
4	40	169	0,12	20,28	13,87
5	55	155	0,17	26,35	18,02
6	60	146	0,2	29,2	19,97
7	65	142	0,21	29,82	20,39
8	75	138	0,25	34,5	23,59
9	85	124	0,27	33,48	22,89
10	100	121	0,29	35,09	23,99
11	115	102	0,35	35,7	24,41
12	120	108	0,36	38,88	26,59
13	125	100	0,38	38	25,98
14	135	99	0,42	41,58	28,43
15	145	100	0,45	45	31,26
16	160	94	0,47	44,18	30,21

Tabel 4.10 Efisiensi Generator ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 12 \mu F$ ).

No	Beban Lampu (W)	$V_s$ (Volt)	$I_{maks}$ (A)	P (W)	Efisiensi ( $\eta$ ) (%)
1	0	234	0	0	0
2	15	226	0,03	6,78	4,64
3	25	218	0,08	17,44	11,93
4	40	192	0,14	26,88	18,38
5	55	185	0,20	37	25,30
6	60	180	0,22	39,6	27,08
7	65	173	0,24	41,52	28,39
8	75	168	0,28	47,04	32,17
9	85	188	0,31	58,28	39,85
10	100	148	0,36	53,28	36,43
11	115	139	0,37	51,43	35,17
12	120	129	0,38	49,02	33,52
13	125	126	0,4	50,4	34,46
14	135	122	0,45	54,9	37,54
15	145	121	0,46	55,66	38,06
16	160	118	0,5	59	40,34
17	175	115	0,53	60,95	41,68
18	185	114	0,56	63,84	43,65

#### IV. PENUTUP

##### A. Kesimpulan.

Perancangan pembangkit listrik tenaga air piko hidro ini tidak dapat menghasilkan listrik tanpa bantuan kapasitor sebagai kompesator dan penguat medan .

- 1) Efisiensi kincir air sebesar 81,04%, efisiensi *speed increaser* sebesar 91,20%, saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 8 \mu F$  dan  $C_2 = 16 \mu F$ ) diperoleh efisiensi maksimum sebesar 36,27% saat kondisi beban lampu 125 watt dan efisiensi minimum sebesar 7,75% saat kondisi beban lampu 15 watt serta regulasi tegangan sebesar 38,18%, saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 10 \mu F$ ) diperoleh efisiensi maksimum sebesar 31,26% saat kondisi beban lampu 145 watt dan efisiensi minimum sebesar 2,72% saat kondisi beban lampu 15 watt serta regulasi tegangan sebesar 54,55% dan saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 12 \mu F$ ) diperoleh efisiensi maksimum sebesar 43,65% saat kondisi beban lampu 185 watt dan efisiensi minimum sebesar 4,64% saat kondisi beban lampu 15 watt serta regulasi tegangan sebesar 48,18%.
- 2) Daya maksimal yang dihasilkan saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 8 \mu F$  dan  $C_2 = 16 \mu F$ ) diperoleh daya maksimum sebesar 52,46 watt saat kondisi beban lampu 125 watt, saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 10 \mu F$ ) diperoleh daya maksimum sebesar 45 watt saat kondisi beban lampu 145 watt dan saat generator menggunakan kapasitor ( $C_1 = 5 \mu F$  dan  $C_2 = 12 \mu F$ ) diperoleh daya maksimum sebesar 63,84 watt saat kondisi beban lampu 185 watt.

##### B. Saran.

Dalam penelitian ini, perancang menyarankan untuk melakukan pengujian yang lebih mendalam pada motor induksi 3 fasa sebelum digunakan sebagai generator induksi 1 fasa, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan nilai kapasitor  $C_1$  dan  $C_2$  yang tepat sebagai kompesator dan penguat medan selain itu dilakukan perancangan sistem kontrol penguat medan sehingga generator induksi 1 fasa dapat bekerja lebih optimal dalam menghasilkan tenaga listrik dan listrik yang dihasilkan dapat lebih konstan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Watiningsih, Tri. *Penerapan Energi Listrik Mandiri Pembangkit Listrik Piko hidro Sebagai Investasi Masa Depan*. Vol.13 No.1, 2012.
- [2] Wibowo, Trisna. *Pemanfaatan Potensi Air Irigasi Di Desa Singarajan Sebagai Penyediaan Energi Listrik Skala Kecil*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2008.
- [3] Yusri, Zamri, Aidil. Asmed. *Analisa Daya Putaran Kincir Air Tradisional Sebagai Alternatif Sumber Daya Penggerak*. Vol.1 No.2, 2004.
- [4] Sule, Luther. Sule, Erwin T. *Analisa Performace Roda Air Arus Bawah Untuk Sudu Plat Datar Dengan Variasi Jumlah Sudu Laju*. Vol.6, 2012.

- [5] Sularso, Suga, Kiyokatsu. 2008. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Cetakan Keduabelas. Jakarta: Kresna Prima Persada.
- [6] Sekeroney, Ferdinand. *Penggunaan Motor Induksi Sebagai Generator Arus Bolak-Balik*. Vo;6 No.2, 2009.
- [7] Yahya, Sofian. Tohir, Toto. *Motor Induksi Spilit Phase Sebagai Generator Induksi 1Fasa*. Seminar Nasional Teknoin. Politeknik Negeri Bandung, 2008.
- [8] Angelika, Rara. *Studi Analisis Karakteristik Motor Induksi Sebagai Generator*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2014.
- [9] Permana, Djaka. *Analisa Teknis Dan Ekonomis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Situ Cibulakan Banten*. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2013.
- [10] Anugra, D, Z. Yanuar, M, H. Widodo, S. Wibowo, S, R. Kusuma, R. *Pembuatan Sepeda Listrik Bertenaga Surya Sebagai Alat Transportasi Masyarakat*. Universitas Gajah Mada.
- [11] <https://www.scribd.com/doc/47730081/ELEMEN-MESIN-RANTAI>
- [12] Komaro, Mumu. *Bahan Kuliah Elemen Mesin 2*. Universitas Pendidikan Indonesia, 2008.
- [13] Nono, Dedi S. Yahya, Sofyan. *Pengontrol Tegangan Generator Induksi Tiga Fasa Untuk Suplai Beban Satu Fasa*. Politeknik Negeri Bandung, 2009.

# Klasifikasi Fase Plasmodium falcifarum dalam Sel Darah Merah dengan *Support Vector Machine* (SVM) Menggunakan Weka

Evi Nuralita<sup>1)</sup>, Ri Munarto<sup>2)</sup>, Endi Permata<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
 Cilegon-Indonesia 42435  
 e-mail : vy\_nuralita@yahoo.com

**Abstrak**— Klasifikasi malaria secara mikroskopis membutuhkan keahlian khusus. Kesalahan bisa terjadi karena ketidakmampuan dan faktor kelelahan mata, hal ini dapat memberikan dampak kesalahan diagnosis. Penggunaan human computer interaction sebagai alternatif untuk memudahkan dalam mengidentifikasi parasit tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi parasit plasmodium falcifarum pada citra digital preparat darah yang terindikasi mengandung parasit tersebut. Ekstraksi ciri menggunakan nilai rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviation*), kemencengan (*skewness*), keruncingan (*kurtosis*), nilai keteracakan (*Entropy*) dari Histogram Warna, Histogram Grayscale dan Histogram Tingkat Saturasi. Klasifikasi parasit plasmodium falcifarum kedalam tiga kelas menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dengan menggunakan Weka.3.7.10. Hasil keakuratan dari tiap fase plasmodium falcifarum adalah Trophozoite 90,37%, Schizonts 88,15%, Gametocyte 97,04%.

**Kata kunci** : Malaria, plasmodium falcifarum, SVM, Weka.

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan kemudahan, kepraktisan dan keakuratan sekarang ini merupakan sesuatu yang dianggap penting karena dianggap mampu membantu pekerjaan manusia. Perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi dimungkinkan untuk dilakukan inovasi baru berbagai bidang, tidak terkecuali bidang medis. Selama ini penentuan jenis penyakit dilakukan dengan cara manual dengan memeriksa preparat sel darah yang terindikasi parasit malaria.

Sekitar 100 juta kasus penyakit malaria terjadi setiap tahun di Indonesia dan sekitar 1 persen di antaranya berakibat fatal. Di Indonesia penyakit malaria masih menjadi masalah kesehatan masyarakat yang penting. Pada tahun 2007, malaria dinyatakan sebagai kejadian luar biasa (KLB) di 8 provinsi, 13 kabupaten, 15 kecamatan, dan 30 desa di Indonesia, dengan jumlah penderita mencapai 1256 orang dan menyebabkan 74 orang meninggal, Sebanyak 94,27 juta penduduk Indonesia tinggal di daerah endemis malaria [5].

Malaria merupakan penyakit yang disebabkan oleh parasit *protozoa* dari genus *plasmodium* yang menginfeksi sel darah merah penderita. Parasit tersebut masuk ke dalam tubuh manusia melalui gigitan nyamuk *anopheles* betina. Spesies *plasmodium* yang menginfeksi manusia yaitu *Plasmodium falcifarum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, dan *Plasmodium malariae*. Kasus yang banyak ditemukan di Indonesia yaitu *plasmodium falcifarum*.

Penelitian tentang citra preparat darah yang teridentifikasi parasit *plasmodium Vivax* telah dilakukan sebelumnya oleh H.Fitriyadi (2008). Penelitian yang dilakukan adalah melakukan segmentasi menggunakan metode *k-mean clustering* dan kemudian melakukan ekstraksi ciri terhadap citra data yang akan diuji. Klasifikasi parasit *plasmodium vivax* kedalam tiga fasa yaitu *trophozoite*, *schizont* dan *gametocyte* dengan menggunakan metode *Support Vector Machine* (SVM). Dias, G, dkk (2008) dalam penelitian mengembangkan segmentasi dengan pemisahan sel darah merah diantaranya menggunakan representasi *Inclusion-Tree* dan melakukan dua klasifikasi untuk mengidentifikasi sel darah merah yang terinfeksi oleh *plasmodium* menggunakan *binary classifier* dan menentukan fase *plasmodium* menggunakan *multiclass classifier*.

### A. Sel Darah

Darah adalah suatu jaringan tubuh yang terdapat di dalam pembuluh darah yang warnanya merah. Warna merah itu keadaannya tidak tetap tergantung pada banyaknya kadar oksigen dan karbondioksida di dalamnya.

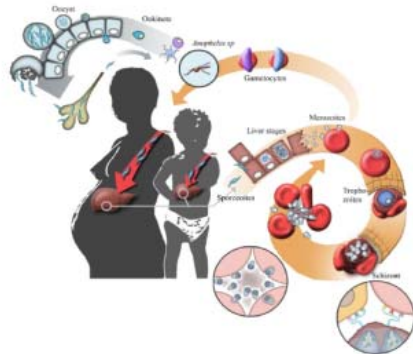
### B. Sel Darah Merah (Eritrosit)

Fungsi sel darah merah adalah mengikat oksigen dari paru-paru untuk diedarkan ke seluruh jaringan tubuh dan mengikat karbondioksida dari jaringan tubuh untuk dikeluarkan melalui paru-paru. Sel darah merah (eritrosit) diproduksi di dalam sumsum tulang merah, limpa dan hati. di dalam sel darah merah ini lah nyamuk *anopheles* pembawa parasit malaria berkembang.

### C. Malaria

Siklus parasit malaria dapat dilihat pada Gambar 1.1 (Johan Nomark, 2008), setelah nyamuk *Anopheles* yang mengandung parasit malaria menggigit manusia, maka keluar *sporozoit* dari kelenjar ludah nyamuk masuk kedalam darah dan jaringan hati. Parasit malaria pada siklus hidupnya, membentuk stadium *sizon* jaringan dalam sel hati

(ekso-eritrositer). Setelah sel hati pecah akan keluar *merozoit* / *kriptozoit* yang masuk ke *eritrosit* membentuk stadium *sizon* dalam *eritrosit* (stadium *eritrositer*), mulai bentuk *tropozoit* muda sampai *sizon* tua / matang sehingga *eritrosit* pecah dan keluar *merozoit*.



Gambar 1.1. Siklus hidup parasit malaria

*Merozoit* sebagian besar masuk kembali ke eritrosit dan sebagian kecil membentuk *gametosit* jantan dan betina yang siap untuk dihisap oleh nyamuk malaria betina dan melanjutkan siklus hidup di tubuh nyamuk (stadium *sporogoni*). Pada lambung nyamuk terjadi perkawinan antara sel gamet jantan (mikro gamet) dan sel gamet betina (makro gamet) yang disebut *zigot*. *Zigot* akan berubah menjadi *ookinet*, kemudian masuk ke dinding lambung nyamuk berubah menjadi *ookista*. Setelah *ookista* matang kemudian pecah, maka keluar *sporozoit* dan masuk ke kelenjar liur nyamuk yang siap untuk ditularkan ke dalam tubuh manusia.

Morfologi *plasmodium falcifarum* dibagi menjadi tiga fase yaitu *trophozoite*, *schizont* dan *gametocyte*. Fase *trophozoite* merupakan fase ketika parasit dalam proses pertumbuhan, fase *shizont* yaitu parasit dalam proses pembiakan, dan fase *gametocyte* adalah parasit dalam proses pembentukan kelamin.

	Trophozoites		Schizonts		Gametocytes	
	Young	Old	Immature	Mature	Female	Male
<i>P. falciparum</i>						
<i>P. vivax</i>						
<i>P. malariae</i>						
<i>P. ovale</i>						

Gambar 1.2 Fase perkembangan *plasmodium* penyebab malaria (Akhyar, 2010)

D. Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra khususnya dengan menggunakan komputer agar mudah diinterpretasi oleh manusia atau mesin, dimana pengolahan citra diterapkan biasanya untuk perbaikan atau modifikasi citra, penggabungan citra dengan citra lainnya, bisa juga digunakan jika suatu citra perlu dikelompokkan, kecocokkan atau diukur dan masih banyak lagi.

Citra digital dibentuk dari kumpulan piksel-piksel yang disusun dalam larik dua-dimensi, Ukuran citra digital diukur berdasarkan panjang dan tinggi citra tersebut. Panjang citra adalah jumlah kolom piksel pada citra, sedangkan tinggi citra adalah menunjukkan jumlah baris piksel.

Citra plasmodium tersebut berada pada ruang yang disebut bidang gambar atau ruang lingkup citra (*image space*).

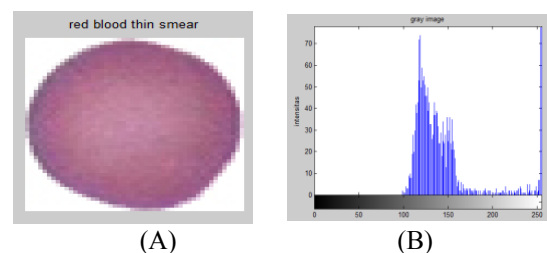
E. Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri merupakan bagian dari teknik pengenalan pola (Pattern recognition) yang bertujuan untuk mengambil atau mengekstraksi nilai-nilai unik dari suatu obyek yang membedakan dengan obyek yang lain.

Proses ekstraksi ciri pada citra parasit malaria dengan menggunakan nilai rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviation*), kemencengan (*skewness*), keruncingan (*kurtosis*) dari Histogram Warna, Histogram *Grayscale* dan Histogram Tingkat Saturasi yang dimiliki oleh citra eritrosit tersebut.

F. Histogram

Histogram merupakan penggambaran dengan diagram batang, yang menunjukkan frekuensi munculnya tiap tingkat keabuan dalam suatu citra. Sumbu horizontal menunjukkan nilai tingkat keabuan. Tingkat keabuan dimulai dari nol sampai dengan jumlah tingkat keabuan yang ada dikurang satu. Tiap-tiap garis vertikal menunjukkan frekuensi munculnya tiap tingkat keabuan pada citra. Contoh citra dan histogramnya dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. (A) Citra hapusan darah tipis . (B) Histogram dari citra *grayscale* hapusan tipis darah merah

Histogram juga diterapkan dalam citra warna, histogram warna merupakan hubungan dari intensitas tiga macam warna. Histogram warna tersebut didefinisikan dengan:

$$HR,G,B[r,g,b] = N.Prob \{R=r, G=g, B=b\} \dots\dots\dots(1.1)$$

Dengan *R,G,B* merupakan tiga macam warna dan *N* adalah jumlah piksel pada citra.

1) Histogram Warna (*Color Histogram*)

Histogram warna adalah fitur warna yang digunakan untuk menandai distribusi global dari citra berwarna. Histogram warna dihitung dengan cara mendiskritkan warna dalam citra, dan menghitung jumlah dari tiap-tiap piksel pada citra. Sebelum dilakukan penghitungan intensitas warna tiap piksel, terlebih dahulu dilakukan normalisasi terhadap ketiga komponen penyusun warna pada citra (*red,green,blue*), proses ini disebut juga dengan *Normalized RGB*. Cara melakukan normalisasi RGB adalah sebagai berikut :

$$NormalizedRed = \frac{Red}{\sqrt{Red^2 + Green^2 + Blue^2}} \dots\dots\dots(1.2)$$

$$NormalizedGreen = \frac{Green}{\sqrt{Red^2 + Green^2 + Blue^2}} \dots\dots\dots(1.3)$$

$$\text{Normalized Blue} = \frac{\text{Blue}}{\sqrt{\text{Red}^2 + \text{Green}^2 + \text{Blue}^2}} \dots\dots\dots(1.4)$$

2) Histogram Tingkat keabuan (*Grayscale Histogram*)

Histogram tingkat keabuan merepresentasikan distribusi intensitas warna citra hapusan yang telah dikonversi menjadi citra tingkat keabuan (*grayscale image*). Nilai citra eritrosit merupakan model warna RGB. Konversi citra RGB ke citra *grayscale* dapat diperoleh dengan persamaan:

Proses konversi citra RGB ke citra *grayscale* adalah dengan mengubah bobot atau kekuatan intensitas dari setiap komponen warna dasar pada citra ke nilai yang sudah ditentukan dan kemudian dikombinasikan sehingga didapatkan citra *gray scale*

$$\text{Grayscale} = 0.42R + 0.32G + 0.28B \dots\dots\dots(1.5)$$

3) Histogram Tingkat Saturasi (*Saturation Level Histogram*)

Histogram saturasi merupakan histogram yang berasal dari permodelan citra hapusan yang menyatakan kemurnian warna cahaya, yang mengindikasikan seberapa banyak warna putih diberikan. Histogram tingkat saturasi digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai intensitas warna berdasarkan kejenuhannya (saturasi). Komponen warna berdasarkan kejenuhannya diperoleh dari citra eritrosit model warna RGB. Untuk mendapatkan permodelan tingkat saturasi ini digunakan persamaan :

$$\text{Saturasi} = 1 - \frac{0}{\text{Red} + \text{Green} + \text{Blue}} \min(R, G, B) \dots\dots\dots(1.6)$$

Dimana nilai saturasi pada setiap piksel ini digunakan untuk membangun histogram distribusinya.

Dari nilai histogram warna, grayscale dan tingkat saturasi sudah bisa dijadikan sebagai vektor *input*, namun untuk mengurangi masalah komputasi, nilai-nilai tersebut diwakili oleh nilai *mean*, standar deviasi, *kurtosis* dan *skewness* dari distribusinya histogram tersebut.

G. Mean

Nilai rata-rata dari intensitas di dalam citra atau yang disebut dengan *mean* merupakan fitur yang sangat umum dalam statistika sebagai nilai yang diharapkan untuk mencirikan suatu citra dan perhitungannya tidak membutuhkan pembentukan matriks *co-occurrence* terlebih dahulu. *Mean* atau nilai rata-rata dari intensitas dapat didefinisikan dengan:

$$\text{Mean} = \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots\dots\dots(1.7)$$

dengan :  
*n* = jumlah piksel dari citra  
*x* = nilai disetiap piksel citra

H. Standar Deviasi

Standar deviasi dapat didefinisikan dengan pengukuran untuk penyimpangan standar yang konsisten untuk semua distribusi normal. Dalam tugas akhir ini dimaksud adalah distribusi tingkat keabuan dari citra. Adapun besar standar deviasi dapat dihasilkan dengan persamaan:

$$\text{Standar deviasi} = s = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots(1.8)$$

dengan :  
*n* = jumlah piksel dari citra  
*x* = nilai disetiap piksel citra

$\mu = \text{mean}$

I. Skewness (*Kecondongan*)

*Skewness* atau yang disebut kecondongan merupakan derajat ketidaksimetrisan distribusi warna dari citra, yang dilihat dari nilai-nilai histogram citra tersebut.. *Skewness* dapat didefinisikan dengan :

$$\text{Skewness} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^{3/2}} \dots\dots\dots(1.9)$$

J. Kurtosis (*Keruncingan*)

*Kurtosis* merupakan derajat keruncingan distribusi warna dari citra. Jika kurva histogram lebih runcing dari distriusi normal dinamakan *leptokurtik*, yang lebih datar disebut *prakurtik* dan distribusi normal disebut *mesokurtik*. *Kurtosis* secara matematis dihitung dari moment ke empat dari *mean*. Distribusi normal memiliki *kurtosis* = 3. *Kurtosis* dapat didefinisikan dengan :

$$\text{Kurtosis} = k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^4}{\left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2 \right)^2} \dots\dots\dots(1.10)$$

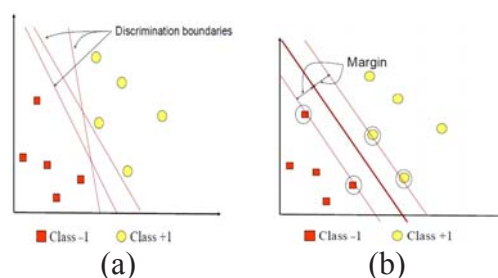
K. Support Vector Machine (*SVM*)

*Support Vector Machine* (*SVM*) pertama kali diperkenalkan oleh vapnik pada tahun1992 sebagai rangkaian harmonis konsep – konsep unggulan dalam bidang pattern recognition.

*Support vector machine* (*SVM*) adalah suatu teknik yang relatif baru (1995) untuk melakukan prediksi, baik dalam kasus klasifikasi maupun regresi, yang sangat populer belakangan ini. *SVM* berada dalam satu kelas dengan ANN dalam hal fungsi dan kondisi permasalahan yang bisa diselesaikan. Keduanya masuk dalam kelas *supervised learning*. ANN menemukan solusi yang memiliki sifat *local optimal* sedangkan *SVM* menemukan solusi yang memiliki sifat *global optimal*.

1) Linear Support Vector Machine (*SVM*)

Konsep *SVM* dapat dijelaskan secara sederhana sebagai usaha mencari hyperplane terbaik yang berfungsi sebagai pemisah dua buah class pada input space. Gambar 1a memperlihatkan beberapa pattern yang merupakan anggota dari dua buah class : +1 dan -1. Pola yang tergabung pada class -1 disimbolkan dengan warna merah (kotak), sedangkan pola pada class +1, disimbolkan dengan warna kuning(lingkar). Problem klasifikasi dapat diterjemahkan dengan usaha menemukan garis (hyperplane) yang memisahkan antara kedua kelompok tersebut. Berbagai alternatif garis pemisah (*discrimination boundaries*) ditunjukkan pada gambar 1.8.



Gambar 1.9 SVM berusaha menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan kedua class  $-1$  dan  $+1$

Hyperplane pemisah terbaik antara kedua class dapat ditemukan dengan mengukur *margin* hyperplane tsb. dan mencari titik maksimalnya. Margin adalah jarak antara hyperplane tersebut dengan pattern terdekat dari masing-masing class. Pattern yang paling dekat ini disebut sebagai *support vector*.

## 2) Metode “One Against One”

Metode One Against One (satu lawan satu) dimaksudkan bahwa, tiap kelas dlawankan dengan 1 kelas yang lainnya. Dengan menggunakan metode ini, dibangun  $\frac{k(k-1)}{2}$  buah model klasifikasi biner ( $k$  adalah jumlah kelas). Setiap model klasifikasi dilatih pada data dari dua kelas. Contohnya, terdapat permasalahan klasifikasi dengan 4 buah kelas. Oleh karena itu, digunakan 6 buah SVM biner seperti pada tabel 2.2 dan contoh penggunaannya alam memprediksi kelas data baru dapat dilihat pada gambar 1.2.

TABLE I  
Contoh 6 SVM biner dengan metode One-Against-One

$y_i = 1$	$y_i = -1$	Hipotesis
Kelas 1	Kelas 2	$f^{12}(x) = (w^{12})x + b^{12}$
Kelas 1	Kelas 3	$f^{13}(x) = (w^{13})x + b^{13}$
Kelas 1	Kelas 4	$f^{14}(x) = (w^{14})x + b^{14}$
Kelas 2	Kelas 3	$f^{23}(x) = (w^{23})x + b^{23}$
Kelas 2	Kelas 4	$f^{24}(x) = (w^{24})x + b^{24}$
Kelas 3	Kelas 4	$f^{34}(x) = (w^{34})x + b^{34}$

Target dari hasil pelatihan ini adalah mencari *Hyperplane* terbaik pada masing-masing SVM biner, yang akan digunakan untuk mengidentifikasi setiap data uji, apakah berada dikelas  $-1$  atau  $+1$ . Proses pengujian untuk menentukan apakah hasil dari rumus tersebut bernilai *negative* atau *positive*. Jika hasilnya adalah *negative* maka data uji tersebut berada pada kelas  $-1$  dan jika hasilnya *positive* maka data uji tersebut berada pada kelas  $+1$ . Jika kelas  $+1$  adalah lebel untuk *Trophozoite* dan kelas  $-1$  adalah lebel untuk *Schizonts*, sedangkan hasil dari SVM biner tersebut bernilai *positive*, maka hasil klasifikasi untuk kelas SVM biner tersebut adalah *Trophozoite* atau nilai voting *Trophozoite* bertambah 1. Setelah data uji tersebut diproses pada masing-masing SVM biner, maka hasil pengujian akhir mengikuti metode *ones against ones SVM multiclass*. Penentuan suatu data uji masuk dalam kelas *Trophozoite* atau *Schizonts* atau *Gametocyte*, yaitu dengan melakukan voting dari hasil seluruh SVM biner.

## L. Pengenalan Data Mining

Dalam perkembangannya Data Mining memiliki banyak definisi yang cukup beragam. Berikut adalah beberapa definisi Data Mining pada umumnya:

1. Data mining adalah proses yang menggunakan statistik, matematika, kecerdasan buatan, dan machine learning untuk mengekstraksi dan mengidentifikasi informasi yang bermanfaat dan

terkait dari berbagai database besar [Turban,dkk.2005].

2. Menurut Gartner Group data mining adalah suatu proses menemukan hubungan yang berarti, pola dan kecenderungan dengan memeriksa dalam sekumpulan besar data yang tersimpan dalam penyimpanan dengan menggunakan teknik pengenalan pola seperti teknik statistik dan matematika [Daniel T. Larose,2005].

Jadi dapat disimpulkan bahwa Data mining adalah serangkaian proses untuk menggali nilai tambah berupa informasi yang selama ini tidak diketahui secara manual dari suatu basisdata. Informasi yang dihasilkan diperoleh dengan cara mengekstraksi dan mengenali pola yang penting atau menarik dari data yang terdapat dalam basisdata.

## M. Weka

Weka (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) adalah aplikasi Data Mining Open Source berbasis Java. Aplikasi ini dikembangkan pertama kali oleh Universitas Waikato di Selandia Baru. Weka terdiri dari koleksi algoritma machine learning yang dapat digunakan untuk melakukan generalisasi/formulasi dari sekumpulan data sampling. Algoritma ini bisa diterapkan secara langsung kedalam data set atau bisa juga dipanggil dari kode java kita sendiri. Weka memiliki tools untuk data re-processing, classification, regression, clustering, association rules, dan visualization. Weka mengorganisasi kelas-kelas kedalam paket-paket dan setiap kelas dipaket dapat mereferensi kelas lain dipaket lain. Paket classifiers berisi implementasi dari hampir semua algoritma untuk klarifikasi dan prediksi. Kelas yang paling penting disini adalah Classifier, yang mendeklarasikan struktur umum dari skema klasifikasi dan prediksi. Kelas ini memiliki 2 metoda, yaitu build Classifier dan classify Instance, yang harus diimplementasikan oleh kelas-kelas yang menginduk kekelas ini.

Weka sangat membantu dalam mengolah data (Data Mining), karena dengan software Weka ini kita dapat dengan mudah untuk mengolah setumpuk data dan mengambil informasi yang penting saja dari sekumpulan data tersebut. Untuk membuat sebuah data. Selain itu juga, Weka mampu menyelesaikan masalah-masalah data mining didunia nyata, khususnya klasifikasi yang mendasari pendekatan machine learning. Dalam penelitian ini digunakan Weka versi 3.7.10.

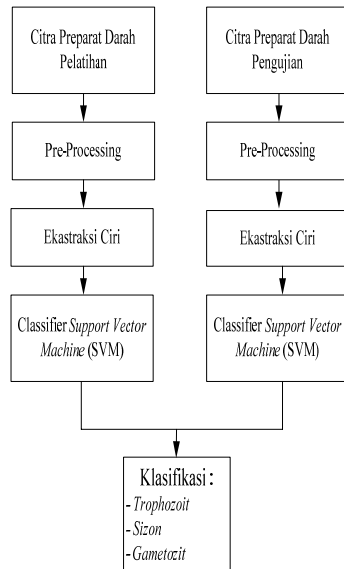
## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

Dalam penelitian dilakukan pengambilan data terlebih dahulu dengan memisahkan data citra pengujian dan data citra pelatihan. Selanjutnya ekstraksi ciri untuk mengetahui ciri-ciri dari masing-masing citra. Data dari ekstraksi fitur yang telah didapat kemudian disiapkan untuk nantinya dipergunakan sebagai inputan dalam melakukan klasifikasi dengan weka 3.7.10, nilai dari fitur-fitur keluaran dari matlab disimpan kedalam ms.excel dengan cara memasukkan satu persatu nilai dari fitur-fitur tersebut dan disimpan dengan format CSV (*Comma Separated Values*). Kemudian data tersebut diolah dalam aplikasi weka yang kemudian diklasifikasikan dengan menggunakan modul classify dengan algoritma *Support Vector Machine (SVM)*.



Blok diagram metode penelitian yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Blok Diagram sistem

### B. Instrumen Penelitian

#### 1. Perangkat keras (Hardware)

Spesifikasi perangkat keras yang digunakan adalah CPU *Intel core i5 M460 Processor 2.53GHz, 2GB of RAM DDR3* dengan Sistem Operasi *Microsoft Windows 7 home premium*.

#### 2. Perangkat lunak (Software)

Perangkat lunak digunakan yaitu *Mathlab* version 7.9.0.529 R2009b. *Microsoft Office Excel* 2007, *Weka* 3.7.10

#### 3. Data yang digunakan

Sampel data citra parasit *Plasmodium falcifarum* diperoleh dari *public health image library (PHIL) phil.cdc.gov* dan Drh. Suhintam Pusarawati M.Kes dan dr. Indah S.Tantular M.Kes.,PhD di Parasitologi FK dan *Tropical Disease Centre (TDC) Universitas Airlangga*. Proses pengumpulan sampel preparat darah dan pemotretan dilakukan secara langsung oleh pegawai Laboratorium Kesehatan.

TABLE 2

PENGELOMPOKAN BAHAN/MATERI PENELITIAN

Fase <i>Plasmodium Falcifarum</i>	Banyaknya Sample
<i>Trophozoit</i>	30
<i>Sizon</i>	30
<i>Gametozit</i>	30
Jumlah	90

#### 1) Citra Masukan

Citra masukan merupakan citra warna hasil cropping yang berupa file citra dengan format Jpeg (*Joint Photographic Experts Group*). Jumlah data citra yang di masukkan sebagai *input* pada tahap pelatihan sebanyak 60 data citra dengan ukuran dimensi citra 50 x 50 piksel (Tabel 3.2) dimana perinciannya adalah sebagai berikut:

- 30 citra eritrosit yang terinfeksi *Plasmodium falcifarum* kelas *throphozoit*.
- 30 citra eritrosit yang terinfeksi *Plasmodium falcifarum* kelas *schizont*.

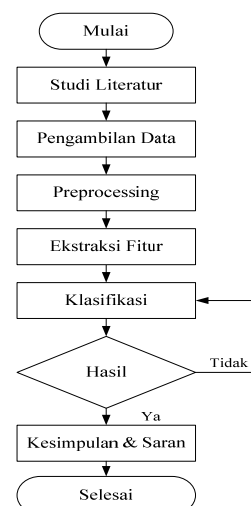
- 30 citra eritrosit yang terinfeksi *Plasmodium falcifarum* kelas *gametocyt*

TABLE 3  
DATA CITRA

Kelas	Citra						Jumlah
Trophozoit							60
Schizont							60
Gametocyt							60

### C. Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian dilakukan setelah mengadakan studi pustaka dan penelusuran mengenai literatur yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Penelitian dilakukan meliputi proses pengumpulan sample preparat darah jenis *plasmodium falcifarum*, segmentasi citra dengan menggunakan cropping manual, ekstraksi ciri, dan dilanjutkan dengan klasifikasi menggunakan *Support Vector Machine (SVM)*. Untuk lebih lengkap dan lebih jelas tentang jalan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Flowchart Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur dengan mencari beberapa referensi mengenai penyakit malaria. Kemudian dilakukan pengambilan data citra *plasmodium falcifarum* sebanyak 90 citra dimana masing – masing fase yaitu 30 citra fase *Trophozoite*, 30 Citra fase *Schizon*, 30 citra fase *Gametocyte*. Setelah pengambilan data kemudian dilakukan cropping manual terhadap citra yang didapat disesuaikan dengan yang dibutuhkan, tahapan selanjutnya yaitu ekstraksi citra untuk menghasilkan nilai ciri yang terkandung dari citra sebagai vektor masukan. Kemudian dilakukan klasifikasi terhadap data citra masukan tersebut dengan menggunakan SVM (*Support Vector Machine*), kemudian dilakukan pengambilan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian.

### 1) Preprocessing

Sebelum dilakukan tahap ekstraksi fitur, dilakukan tahapan preprocessing yaitu cropping manual bertujuan untuk memfokuskan pada area yang dibutuhkan saja dalam penelitian sehingga dilakukan cropping terhadap citra dengan ukuran 50 x 50 pixel. Total data *Plasmodium falcifarum* yang digunakan adalah 90 sampel, untuk data pelatihan masing-masing *Trophozoite* 20 sampel, *Schizonts* 20 sampel dan *Gametocyte* 20 sampel. Sedangkan untuk data pengujian masing-masing *Trophozoite* 10 sampel, *Schizonts* 10 sample dan *Gametocyte* 10 sampel.

TABLE 3  
DISTRIBUSI DATA PELATIHAN

Data	Pengujian I			Pengujian II			Pengujian III		
	Kelas			Kelas			Kelas		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Pelatihan	Citra 1 s.d 20			Citra 11 s.d 30			Citra 1 s.d 10 dan 21 s.d 30		
	20	20	20	20	20	20	20	20	20
	60			60			60		
Pengujian	Citra 21 s.d 30			Citra 1 s.d 10			Citra 11 s.d 20		
	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	30			30			30		

Data citra dibagi menjadi 2 bagian yaitu data untuk pelatihan dan data untuk pengujian yang dilakukan secara random, banyaknya data pelatihan dari masing – masing kelas yaitu 20 citra *trophozoite*, 20 citra *schizont*, 20 citra *gametocyte* sehingga jumlahnya 60 citra yang dilakukan pengujian sebanyak tiga kali, dan banyaknya data pengujian dari masing – masing kelas yaitu 10 citra *trophozoite*, 10 citra *schizont*, 10 citra *gametocyte* sehingga jumlahnya 30 citra dan dilakukan juga pengujian sebanyak tiga kali. Total keseluruhan dari masing–masing kelas yaitu sebanyak 90 citra.

Sebelumnya citra – citra yang telah didapat diberi label untuk masing – masing kelas, kelas 1 yaitu *trophozoit*, kelas 2 *schizont*, kelas 3 *gametocyte*. Untuk kelas *trophozoite*

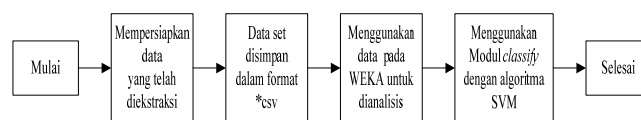
diberi label citra dari 1-1 s.d 1-30, untuk kelas *schizont* diberi label citra dari 2-1 s.d 2-30, untuk kelas *gametocyte* diberi label citra dari 3-1 s.d 3-30.

### 2) Ekstraksi Fitur

Pada penelitian ini proses pencarian nilai ciri atau karakteristik dari citra eritrosit adalah penggunaan nilai rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviation*), kemencengan (*skewness*), keruncingan (*kurtosis*) dari Histogram Warna, Histogram *Grayscale* dan Histogram Tingkat Saturasi yang dimiliki oleh citra eritrosit tersebut dan nilai keteracakan (*entropy*) diperoleh dari matrik pasangan intensitas dari citra atau yang disebut dengan *Matriks Co-occurrent* dengan menggunakan matlab.

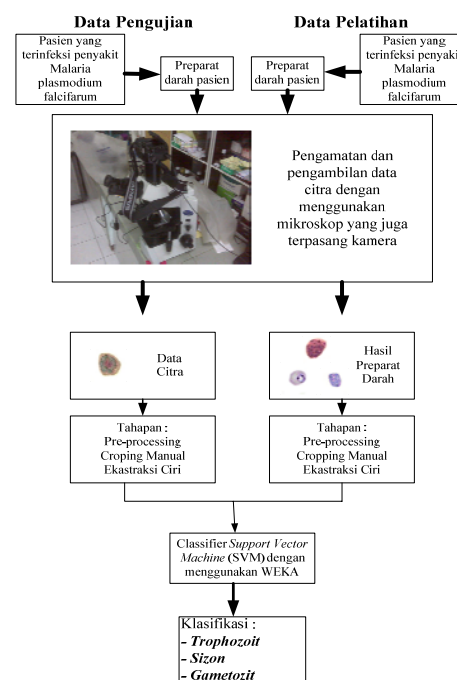
### 3) Klasifikasi

Data pelatihan yang sudah diekstraksi ciri, selanjutnya menjadi data pelatihan SVM (*Support Vector Machine*). Klasifikasi dilakukan dengan menerapkan algoritma SVM pada tools data mining Weka 3.7.10.



Gambar.2.3 Skema tahap klasifikasi

Data dari ekstraksi fitur dipergunakan sebagai inputan dalam melakukan klasifikasi dengan Weka 3.7.10, nilai dari fitur-fitur keluaran dari matlab disimpan kedalam ms.excel dengan cara memasukkan satu persatu nilai dari fitur-fitur tersebut dan disimpan dengan format csv (*comma separated values*). Kemudian data tersebut diolah dalam aplikasi weka diklasifikasikan dengan algoritma *Support Vector Machine*.



Gambar 2.4. Skema tahap pemrosesan data

Preparat darah yang didapat dibagi menjadi dua kelompok yaitu untuk data training dan data testing, setelah dipisahkan data tersebut kemudian dilakukan akuisisi citra dengan tujuan untuk memperoleh gambar, dimana data yang diperoleh merupakan data aktual yang diperoleh dari hasil

capture preparat langsung diatas mikroskop. Tahapan ini meliputi persiapan peralatan *preparat*, mikroskop, kamera dan komputer, pengaktifan kamera sampai dengan *capture-an* gambar. *Preparat* yang telah diletakkan diatas kaca, dilihat dengan mikroskop, dimana perbesaran pada mikroskop diatur pada 100 kali lensa objektif dan 10 kali pada lensa okuler. Didapatkan 20 citra untuk masing – masing fase (*Tropozoit, Sshizont, Gametozyte*) data training, dan 10 citra untuk masing – masing (*Tropozoit, Sshizont, Gametozyte*) citra data testing.

Tiap proses pembelajaran, citra preparat hapusan darah tipis yang terinfeksi (*thin blood smear stained*) parasit *plasmodium falcifarum* data citra sample tersebut disimpan dengan format penyimpanan .Jpeg kemudian diolah dalam tahapan pra proses (pre-processing) dengan mengatur tinggi dan lebar citra yang akan diolah dengan tujuan normalisasi data. Agar dapat diolah oleh program aplikasi dengan tampilan yang wajar dan waktu pengolahan yang cukup cepat, ukuran citra yang dimasukkan adalah lebar (*width*) 50 piksel dan tinggi (*height*) 50 piksel, artinya setelah file citra preparat darah diperoleh, proses normalisasi seperti *cropping* dan *resize* untuk menyamakan dimensi citra dilakukan secara manual.

Proses berikutnya adalah ekstraksi fitur untuk menghasilkan nilai ciri yang terkandung dari citra sebagai vektor masukan. Dalam hal ini yang digunakan sebagai fitur yaitu rata-rata (*mean*), simpangan baku (*standard deviation*), kemencengan (*skewness*), keruncingan (*kurtosis*) dari Histogram Warna, Histogram *Grayscale* dan Histogram Tingkat Saturasi

Selanjutnya dilakukan proses klasifikasi. Dalam penelitian ini menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) linear programming dengan menggunakan weka 3.7.10.

#### D. ROC (Receiver Operating Characteristics)

Hasil klasifikasi akan dilakukan perbandingan sehingga akan diperoleh empat nilai, masing-masing adalah *true positive*, *false negative*, *false positive*, dan *true negative*. TP (*True positive*) menunjukkan citra preparat darah yang teridentifikasi secara tepat sesuai dengan kelasnya (V). FP (*False positive*) merupakan citra preparat darah yang seharusnya teridentifikasi dengan tepat pada kelasnya ternyata dalam proses klasifikasi salah dalam mengidentifikasi. TN (*True negatif*) merupakan citra yang bukan anggota kelas tersebut teridentifikasi tepat bukan anggota kelas tersebut (NV). FN (*False negatif*) menunjukkan citra preparat darah yang seharusnya bukan anggota dari klas tersebut teridentifikasi sebagai anggota kelas tersebut. Pemetaan dari masing-masing nilai tersebut dapat dilihat dalam confusion matrix tabel iii

Berdasarkan ke-empat nilai tersebut diperoleh nilai TPR (*True Positive Rate*) yang dikenal dengan istilah *sensitivity* yaitu citra yang teridentifikasi secara benar berdasarkan persamaan 3.1.

$$TPR = \frac{TP}{TP+FN} \quad (2.1)$$

FPR (*False Positive Rate*) atau *specificity* adalah nilai yang menunjukkan tingkat kesalahan dalam melakukan identifikasi yang diperoleh berdasarkan persamaan 2.2. sedangkan nilai yang menunjukkan keakuratan dari identifikasi (*accuracy*) diperoleh dari persamaan 2.3.

$$FPR = \frac{FP}{FP+FN} \quad (2.2)$$

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (2.3)$$

TABLE 3  
CONFUSION MATRIX

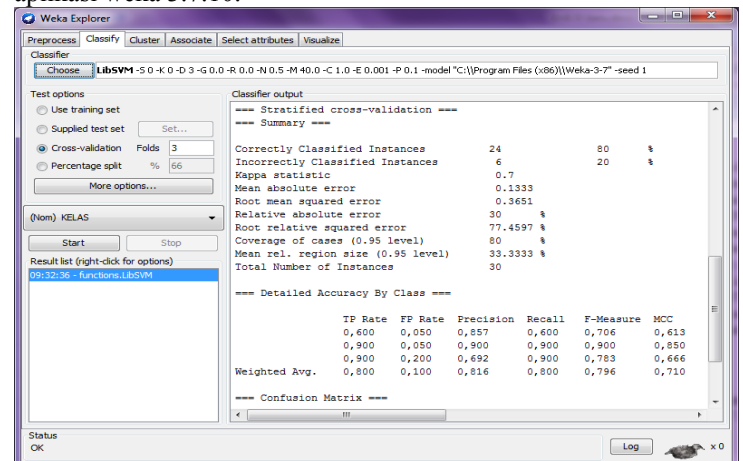
		Target	
		V	NV
Hasil Identifikasi	V	TP	FP
	NV	FN	TN

### III. HASIL DAN ANALISIS

Hasil dari proses ekstraksi berupa nilai fitur-fitur yang akan digunakan sebagai input dalam klasifikasi. Tahap selanjutnya yaitu memproses data tersebut dengan menggunakan weka 3.7.10, tahap ini dimulai dengan pengolahan data dengan teknik pembagian atau pemisahan data yaitu 20 citra sebagai data training tiap masing-masing fase dan 10 citra sebagai data testing tiap masing-masing fase. Pemisahan data tersebut dilakukan secara berurutan dimulai dari record data ke 1-20 sebagai data training, dan record data ke 21-30 sebagai data testing. Data sheet dari citra parasit malaria *plasmodium falcifarum* ini akan dilakukan uji coba dengan menggunakan *Support Vector Machine* (SVM) dengan menggunakan aplikasi weka 3.7.1.0 untuk mengetahui seberapa banyak jumlah citra yang masuk dalam klasifikasi fase *plamodium falcifarum*, yaitu Trophozite, Schizons, Gametocyte.

#### A. Penerapan

Berikut ini tampilan proses dari klasifikasi Support Vector Machine dengan atribut LibSVM function pada aplikasi weka 3.7.10.



Gambar 3.1 Tampilan weka proses klasifikasi

Sebelum data diproses data dipecah menjadi dua bagian, yaitu pertama data training sebanyak 20 citra sebagai data training tiap masing-masing fase dan 10 citra sebagai data testing tiap masing-masing fase, hal ini dilakukan agar dapat terbentuk suatu model dengan menggunakan data training, selanjutnya data yang terbentuk dengan menggunakan data training akan diujikan kembali menggunakan data testing.

Hasil proses klasifikasi data training dan testing dapat dilihat sebagai berikut.

Time taken to build model: 1.83 seconds  
 === Evaluation on training set ===  
 Time taken to test model on training data: 0.03 seconds  
 === Summary ===

Correctly Classified Instances 85 94.4444 %  
 Incorrectly Classified Instances 5 5.5556 %  
 Kappa statistic 0.9167  
 Mean absolute error 0.037  
 Root mean squared error 0.1925  
 Relative absolute error 8.3333 %  
 Root relative squared error 40.8248 %  
 Coverage of cases (0.95 level) 94.4444 %  
 Mean rel. region size (0.95 level) 33.3333 %  
 Total Number of Instances 90

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
0,867	0,017	0,963	0,867	0,912	0,874	0,925	0,879	Falci-parum Trophozoite
0,967	0,067	0,879	0,967	0,921	0,880	0,950	0,861	Falci-parum Schizonts
1,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	Falci-parum Gametocyte
0,944	0,028	0,947	0,944	0,944	0,918	0,958	0,913	Rata-rata

Dari Hasil Support Vector Machine data training dan testing diatas terlihat bahwa ketepatan dalam klasifikasi yaitu 94,44%, dan kesalahan dalam proses klasifikasi sebesar 5,56%.

=== Confusion Matrix ===

a b c <- classified as  
 26 4 0 | a = Falci-parum Trophozoite  
 1 29 0 | b = Falci-parum Schizonts  
 0 0 30 | c = Falci-parum Gametocyte

Dari Hasil klasifikasi data waktu yang dibutuhkan untuk membangun suatu model membutuhkan waktu selama 0,03 seconds saat melakukan klasifikasi *Support Vector Machine* sebanyak 90 data record pada *class Trophozite, Schizons, Gametocyte* dikenali oleh model mencapai 94,44% data terklasifikasi dengan baik. Dari *confusion matrix* dapat terlihat kelas yang masuk dalam kelas *Trophozite* sebanyak 26 dan, kelas yang masuk dalam kelas *schizons* sebanyak 29 dan *Gametocyte* sebanyak 30 citra teridentifikasi dengan baik. Didapatkan nilai ROC *Trophozite* 92,5% dan, *schizons* 95% dan *Gametocyte* sebanyak 100% Perhitungan jumlah dari masing-masing fase dapat dilihat dalam tabel 4.

TABLE 4  
 PERHITUNGAN JUMLAH MASING MASING FASE DALAM CONFUSION MATRIX

	<i>Trophozoite</i>	<i>Schizons</i>	<i>Gametocyte</i>	Total
<i>Trophozoite</i>	26	4	0	30
<i>Schizons</i>	1	29	0	30
<i>Gametocyte</i>	0	0	30	30
Total	27	33	30	90

Hasil proses klasifikasi *cross-validation* dengan *fold 2* dapat dilihat sebagai berikut.

Test mode: 2-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

LibSVM wrapper,

Time taken to build model: 1.39 seconds

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances 78 86.6667 %  
 Incorrectly Classified Instances 12 13.3333 %  
 Kappa statistic 0.8  
 Mean absolute error 0.0889  
 Root mean squared error 0.2981  
 Relative absolute error 20 %  
 Root relative squared error 63.2456 %  
 Coverage of cases (0.95 level) 86.6667 %  
 Mean rel. region size (0.95 level) 33.3333 %  
 Total Number of Instances 90

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
0,867	0,100	0,813	0,867	0,839	0,755	0,883	0,749	Falci-parum Trophozoite
0,767	0,067	0,852	0,767	0,807	0,720	0,850	0,731	Falci-parum Schizonts
0,967	0,033	0,935	0,967	0,951	0,926	0,967	0,915	Falci-parum Gametocyte
0,867	0,067	0,867	0,867	0,866	0,800	0,900	0,798	Rata-rata

Dari hasil *cross-validation* dengan *folds 2* terlihat bahwa ketepatan dalam klasifikasi yaitu 86,67%, dan kesalahan dalam proses klasifikasi sebesar 13,33%.

=== Confusion Matrix ===

a b c <- classified as  
 26 4 0 | a = Falci-parum Trophozoite  
 5 23 2 | b = Falci-parum Schizonts  
 1 0 29 | c = Falci-parum Gametocyte

Hasil *cross validation* dengan *folds 2* klasifikasi data waktu yang dibutuhkan untuk membangun suatu model membutuhkan waktu selama 1,33 seconds saat melakukan klasifikasi *Support Vector Machine* sebanyak 90 data record pada *class Trophozite, Schizons, Gametocyte* dikenali oleh model mencapai 86,67% data terklasifikasi dengan baik. Dari *confusion matrix* dapat terlihat kelas yang masuk dalam kelas *Trophozite* sebanyak 26 dan, kelas yang masuk dalam kelas *schizons* sebanyak 23 dan *Gametocyte* sebanyak 29 citra teridentifikasi dengan baik. Didapatkan nilai ROC *Trophozite* 88,3% dan, *schizons* 85% dan *Gametocyte* sebanyak 96,7% Perhitungan jumlah dari masing-masing fase dapat dilihat dalam tabel 5

Hasil proses klasifikasi *cross-validation* dengan *fold 3* dapat dilihat sebagai berikut.

Test mode: 3-fold cross-validation

=== Classifier model (full training set) ===

LibSVM wrapper

Time taken to build model: 1.44 seconds

=== Stratified cross-validation ===

=== Summary ===

Correctly Classified Instances 80 88.8889 %  
 Incorrectly Classified Instances 10 11.1111 %  
 Kappa statistic 0.8333  
 Mean absolute error 0.0741  
 Root mean squared error 0.2722  
 Relative absolute error 16.6667 %  
 Root relative squared error 57.735 %  
 Coverage of cases (0.95 level) 88.8889 %  
 Mean rel. region size (0.95 level) 33.3333 %  
 Total Number of Instances 90

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
0,867	0,067	0,867	0,867	0,867	0,800	0,900	0,796	Falci-parum Trophozoite
0,833	0,083	0,833	0,833	0,833	0,750	0,875	0,750	Falci-parum Schizonts

0,967 0,017 0,967 0,967 0,967 0,950 0,975 0,946 Falciparum Gametocyte  
0,889 0,056 0,889 0,889 0,889 0,833 0,917 0,830 Rata-rata

Dari hasil *cross-validation* dengan *folds* 3 terlihat bahwa ketepatan dalam klasifikasi yaitu 88,89%, dan kesalahan dalam proses klasifikasi sebesar 11,11%.

```

=== Confusion Matrix ===
a b c <-- classified as
26 4 0 | a = Falciparum Trophozoite
4 25 1 | b = Falciparum Schizonts
0 1 29 | c = Falciparum Gametocyte
    
```

Hasil *cross validation* dengan *folds* 3 klasifikasi data waktu yang dibutuhkan untuk membangun suatu model membutuhkan waktu selama 1,36 seconds saat melakukan klasifikasi *Support Vector Machine* sebanyak 90 data record pada *class Trophozite, Schizonts, Gametocyte* dikenali oleh model mencapai 88,89%. Dari *confusion matrix* dapat terlihat kelas yang masuk dalam kelas *Trophozite* sebanyak 26 dan, kelas yang masuk dalam kelas *schizonts* sebanyak 25 dan *Gametocyte* sebanyak 29 citra teridentifikasi dengan baik. Didapatkan nilai ROC *Trophozite* 90% dan, *schizonts* 87,5% dan *Gametocyte* sebanyak 97,5% Perhitungan jumlah dari masing-masing fase dapat dilihat dalam tabel 5

TABLE 5  
PERHITUNGAN JUMLAH MASING MASING FASE DALAM CONFUSION MATRIX

	Trophozoite	Schizonts	Gametocyte	Total
Trophozoite	24	6	0	30
Schizonts	2	26	2	30
Gametocyte	0	1	29	30
Total	26	33	31	90

Hasil proses klasifikasi *cross-validation* dengan *fold* 4 dapat dilihat sebagai berikut.

Test mode: 4-fold cross-validation

```

=== Classifier model (full training set) ===
LibSVM wrapper
Time taken to build model: 1.33 seconds
=== Stratified cross-validation ===
=== Summary ===
    
```

Correctly Classified Instances 79 87.7778 %  
 Incorrectly Classified Instances 11 12.2222 %  
 Kappa statistic 0.8167  
 Mean absolute error 0.0815  
 Root mean squared error 0.2854  
 Relative absolute error 18.3218 %  
 Root relative squared error 60.5088 %  
 Coverage of cases (0.95 level) 87.7778 %  
 Mean rel. region size (0.95 level) 33.3333 %  
 Total Number of Instances 90

=== Detailed Accuracy By Class ===

TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
0,800	0,033	0,923	0,800	0,857	0,797	0,883	0,805	Falciparum Trophozoite
0,867	0,117	0,788	0,867	0,825	0,734	0,875	0,727	Falciparum Schizonts
0,967	0,033	0,935	0,967	0,951	0,926	0,967	0,915	Falciparum Gametocyte
0,878	0,061	0,882	0,878	0,878	0,819	0,908	0,816	Rata-rata

Dari hasil *cross-validation* dengan *folds* 4 terlihat bahwa ketepatan dalam klasifikasi yaitu 87,78%, dan kesalahan dalam proses klasifikasi sebesar 12,22%.

```

=== Confusion Matrix ===
a b c <-- classified as
246 0 | a = Falciparum Trophozoite
2 26 2 | b = Falciparum Schizonts
0 1 29 | c = Falciparum Gametocyte
    
```

Hasil *cross validation* dengan *folds* 4 klasifikasi data waktu yang dibutuhkan untuk membangun suatu model membutuhkan waktu selama 1,33 seconds saat melakukan klasifikasi *Support Vector Machine* sebanyak 90 data record pada *class Trophozite, Schizonts, Gametocyte* dikenali oleh model mencapai 87,78%. Dari *confusion matrix* dapat terlihat kelas yang masuk dalam kelas *Trophozite* sebanyak 24 dan, kelas yang masuk dalam kelas *schizonts* sebanyak 26 dan *Gametocyte* sebanyak 29 citra teridentifikasi dengan baik. Didapatkan nilai ROC *Trophozite* 88,3% dan, *schizonts* 87,5% dan *Gametocyte* sebanyak 96,7% Perhitungan jumlah dari masing-masing fase dapat dilihat dalam tabel 6

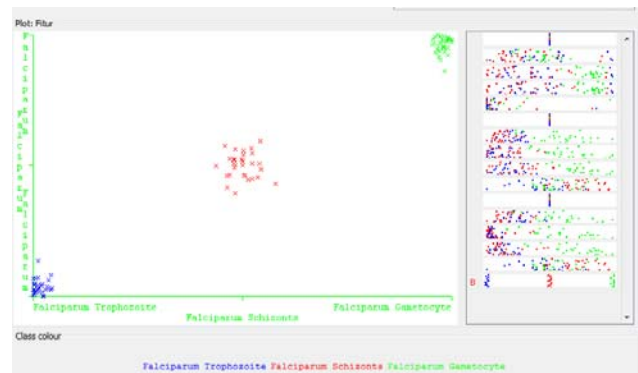
TABLE 6  
PERHITUNGAN JUMLAH MASING MASING FASE DALAM CONFUSION MATRIX

	Trophozoite	Schizonts	Gametocyte	Total
Trophozoite	26	4	0	30
Schizonts	4	25	1	30
Gametocyte	0	1	29	30
Total	30	30	30	90

TABLE 7  
TINGKAT AKURASI HASIL KLASIFIKASI PLASMODIUM FALCIPARUM

	Trophozoite	Schizonts	Gametocyte
Pengujian 1	88,89%	87,78%	96,67%
Pengujian 2	91,11%	88,89%	97,78%
Pengujian 3	91,11%	87,78%	96,67%
Rata-rata	90,37%	88,15%	97,04%

Dari tabel 7 terlihat hasil keakurasian dari masing – masing fase plasmodium falcifarum adalah *Trophozoite* 90,37%, *Schizonts* 88,15%, *Gametocyte* 97,04%.



Gambar 3.2 Grafik hasil klasifikasi

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa SVM dapat memisahkan masing-masing kelas sesuai dengan kelasnya, warna biru menunjukkan fase plasmodium falcifarum *trophozoit*, warna merah menunjukkan fase plasmodium

falcifarum *schizonts*, warna hijau menunjukkan fase plasmodium falcifarum *gametocyte*.

#### IV. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian dan analisis hasil pengujian terhadap citra darah yang terinfeksi *plasmodium falcifarum* dengan menggunakan SVM (*Support Vector Machine*) dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan eksperimen dan hasil pengujian yang dilakukan didapatkan bahwa identifikasi penyakit malaria telah berhasil dilakukan karena dengan metode *Support Vector Machine* (SVM) menggunakan perangkat lunak Weka versi 3.7.10 menghasilkan tingkat akurasi tiap masing-masing fase plasmodium falcifarum untuk kelas *Trophozoite* 90,37%, *Schizonts* 88,15%, *Gametocyte* 97,04%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andi Kusuma Indrawan (2008).” *Identifikasi Fase Plasmodium Falciparum Menggunakan Active Contour dan Support Vector Machine*”. Tesis, Teknik Elektro Jaringan Cerdas Multimedia.
- [2] Wahab, Iis Hamsir Ayub (2008), “*Identifikasi parasit malaria dalam darah menggunakan segmentasi citra digital dn jaringan syaraf tiruan*”.
- [3] Fitriyadi. “identifikasi plasmodium vivax pada sample darah merah menggunakan Support Vector Machine”. Kalimantan.
- [4] Anto satriyo nugroho. 2003. “Support Vector Machine”. Ilmu komputer.com
- [5] Departemen Kesehatan Direktorat Jendral Pemberantasan Penyakit Menular dan Penyehatan lingkungan. 2001. “*Modul Parasitologi Malaria 2<sup>o</sup>*”. Jakarta : Departemen Kesehatan.
- [6] Vit Springl,”*Automatic Malaria Diagnosis through Microscopy Imaging*”, Czech Technical University in Prague,2009.
- [7] Mauridhi Hery Purnomo, Agus Kurniawan,”*Supervised Neural Networks dan Aplikasinya*”. Graha Ilmu,Yogyakarta, 2006.
- [8] Departemen Kesehatan R.I Direktorat Jendral Pemberantasan Penyakit dan Penyehatan lingkungan. 2007. “*Survei Entomologi Malaria*”.
- [9] Di Ruberto, Cecilia, Dempster, Andrew, Khan, Shahid, Jarra , Bill (2002), “*Analysis of infected blood cell images using morphological operators*”, Image and Vision Computing, 20:133-146.
- [10] Putra, Darma. 2010. “*Pengolahan Citra Digital*”. Yogyakarta : ANDI
- [11] Dimov, Rossen. 2007. “*Weka : Practical Machine Learning tools and techniques with java implementasi*”. Universitas of searland
- [12] Sawitri, Dian. dkk. “*Detection of Electrical Faults in Induction Motor Fed by Inverter Using Support Vector Machine and Receiver Operating Characteristic*”. Surabaya : Institute Teknologi Sepuluh November.

# Perancangan RF Amplifier pada Frekuensi 124 MHz untuk Peralatan Tower Set Bandar Udara Juanda Surabaya

Iga Ayu Mas Oka  
Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug, Tangerang

Nurwahyuni Kurnia Sari Hariyadi  
Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug, Tangerang

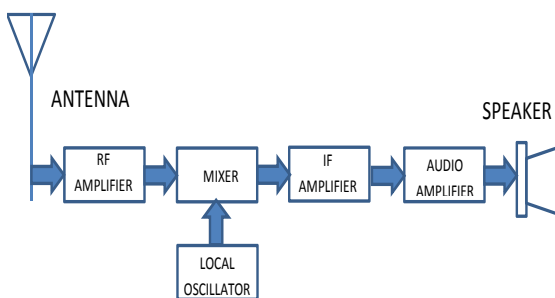
**Abstract**— RF Amplifier merupakan suatu bagian penting dalam sistem receiver peralatan tower set. Pada jurnal ini akan membahas tentang perancangan RF Amplifier dalam sistem receiver tower set. Dalam perancangan rangkaian RF Amplifier ini akan menggunakan lumped element, yang dirancang beresonansi pada frekuensi kerja 124 MHz, seperti yang digunakan pada tower set di Bandar Udara Juanda, Surabaya. Pada input dan output diberi matching impedance, untuk mendapatkan nilai gain dan input return loss yang maksimal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangkaian RF AMPLIFIER ini dapat bekerja pada frekuensi 124 MHz, dengan nilai gain ( $S_{21}$ ) 18,009 dB dan input return loss ( $S_{11}$ ) -48,731 dB. RF AMPLIFIER ini menggunakan catu daya sebesar 12V agar kompatibel dengan perangkat yang lainnya.

**Kata Kunci**— RF Amplifier, Tower Set.

## I. PENDAHULUAN

Tower Set merupakan peralatan yang digunakan untuk keperluan komunikasi antara *Air Traffic Controller* (ATC) dengan pilot. Peralatan tower set terdiri dari seperangkat transmitter dan receiver yang bekerja secara bergantian menggunakan system Push to Talk (PTT). Tower Set bekerja pada frekuensi 118 – 137 MHz, di mana pada Bandar Udara Juanda, Surabaya menggunakan frekuensi 124 MHz pada peralatan tower setnya.

Sistem *receiver* pada peralatan tower set terdiri dari Antenna, RF Amplifier, Mixer, Local Oscillator, IF Amplifier, Audio Amplifier, dan Speaker. Pada gambar 1 dapat dilihat blok diagram dari sistem receiver secara umum.



Gambar 1. Block Diagram sistem Receiver

RF Amplifier merupakan sebuah penguat tegangan yang meningkatkan sinyal input tegangan sampai dengan level yang diinginkan. Rangkaian RF Amplifier terdiri dari rangkaian induktor (L) dan kapasitor (C). Rangkaian ini mempunyai frekuensi yang berubah-ubah tergantung dari perubahan unsur L dan C. Frekuensi resonansi rangkain L dan C merupakan frekuensi sinyal pembawa dari pemancar yang dikehendaki.

## II. PERANCANGAN RANGKAIAN RF AMPLIFIER

Perancangan rangkaian RF Amplifier yang diinginkan, memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi RF Amplifier

Spesifikasi	Aplikasi
	Tower Set
Range Frekuensi	118 – 137 MHz
Frekuensi Kerja	124 MHz
Bandwidth	< 10 MHz $\pm$ 2 MHz
Stability	K > 1
Gain ( $S_{21}$ )	>10 dB
Input Return Loss ( $S_{11}$ )	< -10 dB
Noise Figure	<3 dB

RF Amplifier dirancang menggunakan transistor 2SC3583 yang memiliki karakteristik noise figure rendah, gain tinggi, dan current capability tinggi sehingga cocok untuk RF Amplifier dan dapat dioperasikan pada band VHF. Berdasarkan datasheet transistor 2SC3583, didapat  $V_{CE} = 8,0$  V, arus  $I_C =$  sebesar 20 mA dan  $\beta = 100$ .

Rangkaian DC bias untuk transistor 2SC3583 menggunakan metode *voltage divider bias*, sehingga amplifier dapat bekerja pada kelas A. Target bias yang direncanakan adalah pada  $V_{CE} = 8$  V,  $I_C = 20$  mA, dan  $V_{CC}$  sebesar 12 V.

Tahapan selanjutnya adalah menentukan nilai  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$ ,  $R_C$ , dan  $R_E$ , namun sebelum mencari masing – masing nilai R tersebut, harus menghitung nilai  $V_E$  dengan  $V_B$  terlebih dahulu.

$$V_E = \frac{1}{10} \times V_{CC} = \frac{1}{10} \times 12 \text{ V} = 1,2 \text{ V}$$

$$V_B = 0,7 \text{ V} + 1,2 \text{ V} = 1,9 \text{ V}$$

Setelah didapat nilai  $V_E$  dan  $V_B$ , perhitungan rangkaian dc bias dilanjutkan untuk mencari masing – masing nilai R tersebut.

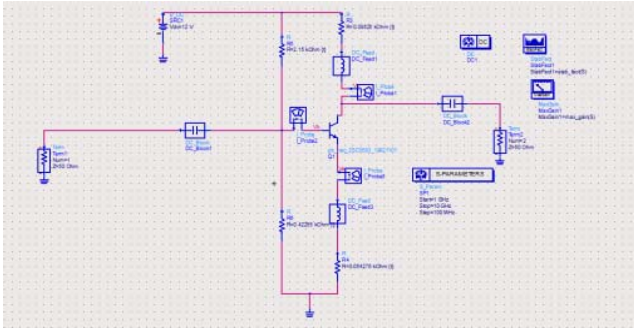
$$R_E = \frac{V_E}{I_C} = \frac{1,2}{20 \text{ mA}} = 0,06 \text{ k}\Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_B}{I_C} = \frac{12 - 8 - 1,9}{20 \text{ mA}} = 0,14 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B2} = \frac{1}{10} \times \beta \times R_E = \frac{1}{10} \times 100 \times 0,06 \text{ k}\Omega = 0,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_{B1} = \frac{V_{CC} \times R_{E1} - V_B \times R_{E2}}{V_B} = \frac{12 \text{ V} \times 0,6 \text{ k}\Omega - 1,9 \text{ V} \times 0,6 \text{ k}\Omega}{1,9 \text{ V}} = 5,05 \text{ k}\Omega$$

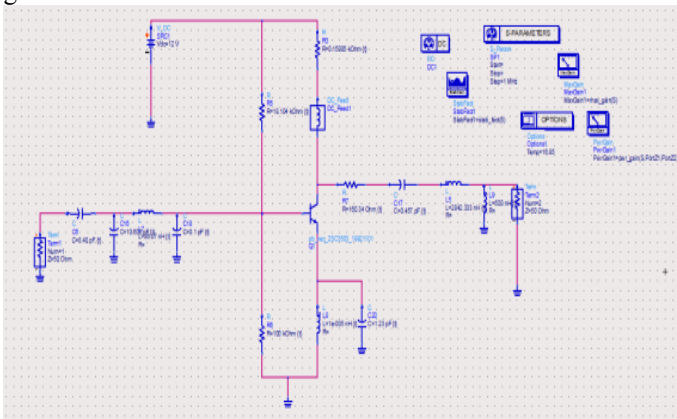
Rangkaian DC Bias pada transistor 2SC3583 dapat dilihat dari gambar 2 berikut.



Gambar 2. Rangkaian DC Bias Transistor

Rangkaian penyesuai impedansi (matching impedance) pada input RF Amplifier menggunakan resonator LC dengan teknik matching bentuk Double L Matching. Sedangkan pada output menggunakan bentuk L matching, sekaligus penambahan resistor yang berfungsi agar return loss maksimal dan bandwidth pada return loss dapat mengecil, juga berpengaruh terhadap stability factornya.

Setelah dilakukan pengoptimalan pada rangkaian dengan menggunakan software ADS [11], maka didapat rangkaian lengkap RF Amplifier seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut ini.

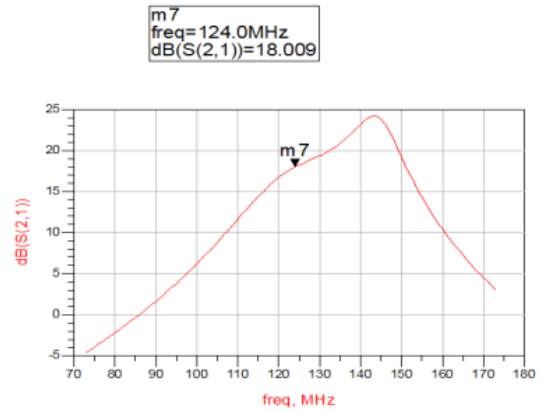


Gambar 3. Rangkaian RF Amplifier

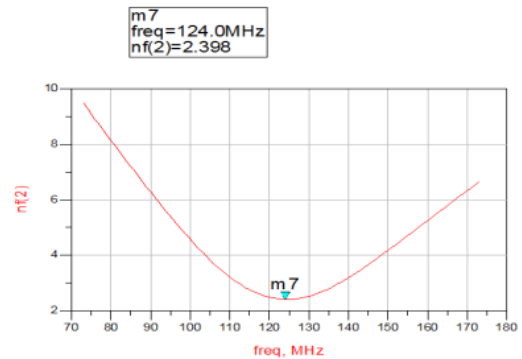
### III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Pada hasil simulasi dan optimasi RF Amplifier dengan software ADS [11], maka akan terlihat hasil seperti pada gambar 4. Dimana, terlihat bahwa RF Amplifier memiliki nilai gain yang lebih besar dari spesifikasi yang diharapkan, yaitu mencapai 18,009dB. Sementara itu, pada Gambar 5 terlihat bahwa RF Amplifier memiliki nilai noise mencapai 2,398 dB.

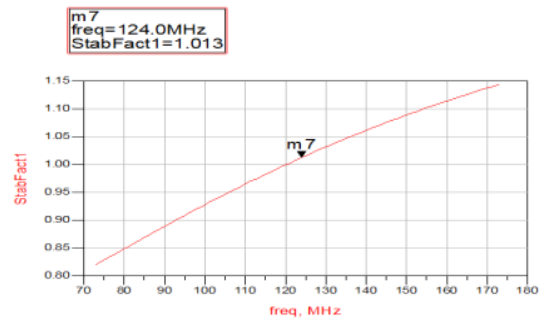
Gambar 6 menunjukkan nilai stability factor (K) pada band frekuensi 124 MHz sebesar 1,013. Ini berarti nilai  $K > 1$  yang memenuhi persyaratan RF Amplifier yaitu *unconditional stabil*.



Gambar 4. Hasil Simulasi Gain (S<sub>21</sub>)

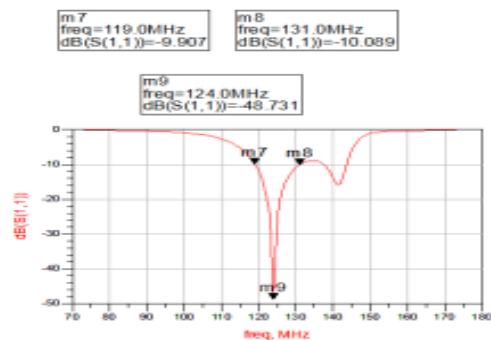


Gambar 5. Hasil Simulasi Noise



Gambar 6. Simulasi Stability Factor

Hasil simulasi input return loss (S<sub>11</sub>) dapat dilihat pada gambar 7, dimana nilai S<sub>11</sub> pada frekuensi 124 MHz adalah -48,731dB dan Bandwidth yang dicapai adalah sekitar 11 MHz. Dan nilai input return loss ini sudah memenuhi persyaratan rancangan RF Amplifier.



Gambar 7. Simulasi Input Return Loss (S<sub>11</sub>)



## IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan rangkaian RF Amplifier yang telah dilakukan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Rangkaian RF amplifier kelas A dengan metode biasing voltage divider menggunakan transistor 2SC3583.
- b. Pengoptimasian rangkaian menggunakan software ADS pada RF amplifier mempengaruhi nilai noise figure, kestabilan, gain, dan return loss.
- c. Hasil dari pengoptimasian yaitu noise figure sebesar 2,398 dB, gain sebesar 18,009 dB, return loss sebesar -48,731 dB dengan bandwidth sebesar 11 MHz, dan faktor kestabilan sebesar 1,013 dB.

## REFERENCES

- [1] [1] Firmansyah, Teguh, "Perancangan dielectric resonator oscillator untuk mobile wimax pada frekuensi 2.3 GHz dengan penambahan coupling", Universitas Indonesia, Juni 2010.
- [2] [2] Gonzales, Guillermo, "Foundations of Oscillator Circuit Design", Norwood, 2007.
- [3] Robert L Boylestad dan Louis Nashelsky, "ELECTRONIC DEVICE AND CIRCUIT THEORY", Pearson Education, 2000.
- [4] Nugroho, Anton, "SIMULASI DAN DESAIN LNA PADA FREQUENCY 2,3 GHz", Skripsi, Universitas Indonesia, 2009.
- [5] Toto Supriyanto, Teguh Firmansyah dan Nugroho Anton, "PERANCANGAN *RADIO FREQUENCY HIGH GAIN LOW NOISE AMPLIFIER* PADA FREKUENSI 2,3 GHZ UNTUK *MOBILE WIMAX*", Jurnal Ilmiah Elite Elektro, Vol. 2, No. 2, September 2011.
- [6] Hang Tony, Cheng Sin. The Design of 2.4 GHz Bipolar Oscillator by Using the Method of Negative Resistance. The Chinese University of Hong Kong, September 2001.
- [7] D.M. Pozar, "Microwave engineering", 2nd Edition, 1998 John-Wiley & Sons.
- [8] J. Millman, C. C. Halkias, "Integrated electronics", 1972, McGraw-Hill.
- [9] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF circuit design - theory and applications", 2000 Prentice-Hall.
- [10] B. Razavi, "RF microelectronics", 1998 Prentice-Hall, TK6560.
- [11] J. R. Smith, "Modern communication circuits", 1998 McGraw-Hill.
- [12] P. H. Young, "Electronics communication techniques", 5<sup>th</sup> edition, 2004 Prentice-Hall.
- [13] Gilmore R., Besser L., "Practical RF circuit design for modern wireless systems", Vol. 1 & 2, 2003, Artech House.
- [14] Ogata K., "Modern control engineering", 4<sup>th</sup> edition, 2005, Prentice-Hall.

# Karakteristik Potensi Energi Surya dan Energi Angin Pada Lahan Potensial Agropolitan yang Belum Dimanfaatkan

Lanto Mohamad Kamil Amali<sup>1)</sup>, Yasin Mohamad<sup>2)</sup>, dan Ervan Hasan Harun<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, email: kamilamali\_gtlo@yahoo.co.id

<sup>2)</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, email: yasinmt@yahoo.co.id

<sup>3)</sup>Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, email: ervanharun@ung.ac.id

**Abstract-** Agropolitan program that developed in the province of Gorontalo is a corn-based programs agropolitan [5]. Based on preliminary data, the agropolitan potential land area in the province of Gorontalo are 220 406 hectares, which has been utilized 99.176 hectares and 121.230 hectares area of local potential for the development of corn has not been utilized.

On the other side, the location of the implementation of farmers' activities post-harvest, carried out away from agricultural land, this is because the area surrounding farmland unaffordable electricity thus leading to higher production costs of farmers. Alternatives can be developed that is exploiting the potential of solar energy and wind energy as an alternative energy to support the power generation project at the location of agricultural land.

The research describes the potential land locations agropolitan in Gorontalo province that not fully utilized and has the potential of solar energy and wind energy, ie: the Bohusami village 422,988 W/m<sup>2</sup> and 0,0,241 W/m<sup>2</sup>, Inogaluma village amounted to 357,06 W/m<sup>2</sup> dan 0,09 W/m<sup>2</sup>, Buhu village amounted to 437,9 W/m<sup>2</sup> and 0,425 W/m<sup>2</sup>, Tutulo village amounted to 397,18 W/m<sup>2</sup> and 0,17 W/m<sup>2</sup>, Tunas Jaya village amounted to 383,944 W/m<sup>2</sup> and 0,32 W/m<sup>2</sup>.

**Keywords:** solar energy, wind energy and agropolitan

## I. PENDAHULUAN

Potensi sumber daya alam, propinsi Gorontalo mempunyai banyak potensi yang layak untuk dikembangkan antara lain dibidang pertanian, berdasarkan data yang diperoleh, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. berikut :

TABEL I

Potensi lahan Pertanian propinsi Gorontalo

Kabupaten/Kota	Potensi	Sudah	Belum
	(Ha)	dimanfaatkan (Ha)	dimanfaatkan (Ha)
Kota Gorontalo	425	232	193
Kab. Gorontalo	77.577	38.444	39.133
Kab. Boalemo	64.127	27.5	36.627
Kab. Pohuwato	63.155	31	32.155
Kab. Bonbol	15.122	2	13.122
	<b>220.406</b>	<b>99.176</b>	<b>121.23</b>

Berdasarkan data di atas, terlihat bahwa 45% lokasi potensial telah dimanfaatkan, sedangkan 55% dari daerah potensial untuk pengembangan jagung belum dimanfaatkan[2]. Jika lokasi potensial tersebut dapat dikembangkan, maka tentulah dapat meningkatkan kesejahteraan bagi masyarakat sekitar daerah tersebut.

Survei awal yang dilakukan, secara umum lokasi pelaksanaan aktivitas petani pascapanen, dilakukan di lokasi yang jauh dari lahan pertanian. Misalnya lokasi pemipilan dan pengeringan jagung. Hal ini disebabkan karena daerah di sekitar lahan pertanian tidak terjangkau listrik. Hal ini yang mendasari beberapa lokasi potensial di propinsi Gorontalo belum dapat dimanfaatkan, mengingat akan semakin tingginya biaya produksi yang dikeluarkan petani.

Apabila pemerintah dapat menyediakan energi listrik di daerah yang dekat dengan lokasi lahan pertanian, tentulah masyarakat dengan sendirinya akan termotivasi untuk melaksanakan aktivitas di lokasi tersebut, salah satu alternatif yang dapat ditempuh yaitu melalui pemanfaatan potensi energi surya dan potensi energi angin sebagai energy alternatif untuk kebutuhan tenaga listrik sehingga lokasi-lokasi potensi di propinsi Gorontalo dapat dimanfaatkan secara maksimal dan dapat membantu pertumbuhan dan perkembangan wilayah propinsi Gorontalo melalui pengembangan konsep agropolitan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Energi Surya

Radiasi matahari adalah sinar yang dipancarkan dari matahari kepermukaan bumi, yang disebabkan oleh adanya emisi bumi dan gas pijar panas matahari. Radiasi dan sinar matahari dipengaruhi oleh berbagai hal sehingga pancarannya yang sampai dipermukaan bumi sangat bervariasi. Penyebabnya adalah kedudukan matahari yang berubah-ubah, revolusi bumi, dan lain sebagainya. Walaupun cuaca cerah dan sinar matahari tersedia banyak, besarnya radiasi tiap harinya selalu berubah-ubah. Berkaitan dengan hal tersebut di atas, radiasi surya yang tiba pada suatu tempat di permukaan bumi dapat kita bedakan menjadi 3 jenis. Ketiga jenis radiasi tersebut adalah : Radiasi Langsung (*direct radiation*), Radiasi Sebaran (*diffuse radiation*), Radiasi Pantulan [4]. Pada penelitian ini radiasi yang akan diukur adalah radiasi langsung (*direct radiation*). Intensitas radiasi ini akan diukur menggunakan alat ukur actinograph.

### 2.2 Energi Angin

Energi angin dapat dikonversi atau ditransfer ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir atau turbin angin. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin [3], seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (\text{watt/m}^2) \quad (1)$$

Keterangan :

P = daya per satuan luas (watt/m<sup>2</sup>)

ρ = massa jenis

V = kecepatan angin (m/det).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Data

Data intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin diperoleh dengan menggunakan alat ukur actinograph untuk pengukuran intensitas radiasi matahari dan anemometer untuk pengukuran kecepatan angin [1].

Pengukuran dilakukan secara langsung dilokasi lahan potensil agropolitan yang belum dimanfaatkan yang tersebar di 5 kabupaten propinsi Gorontalo yaitu Kabupaten Gorontalo Utara, kabupaten Bone Bolango, kabupaten Gorontalo, kabupaten Boalemo dan kabupaten Pohuwato.

#### 3.2 Metodologi

- Perhitungan potensi energy surya diperoleh dari pembacaan alat ukur actinograph pada kertas pias harian yang diukur dari jam 06.00 sampai dengan 18.00 WITA secara langsung dilapangan.
- Perhitungan Potensi energi angin, dihitung dengan menggunakan persamaan :  

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \text{ (Watt/m}^2\text{)}$$

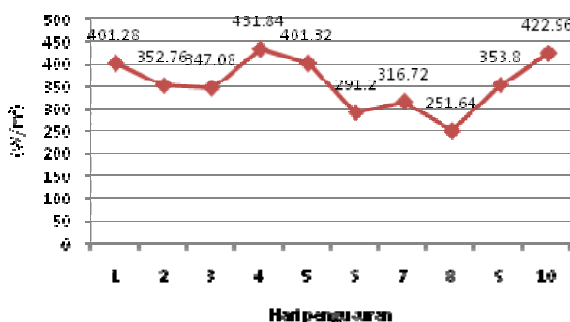
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan yang dilakukan di 5 kabupaten di propinsi Gorontalo, Adapun Karakteristik potensi energy surya dan energy angin untuk setiap lokasi potensil agropolitan yang belum dimanfaatkan adalah sebagai berikut :

#### 1. Kabupaten Gorontalo Utara

Untuk daerah Kabupaten Gorontalo Utara, penelitian dilakukan di desa Bohusami. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin dilakukan selama 10 hari dari tanggal 5 s/d 14 Juni 2014.

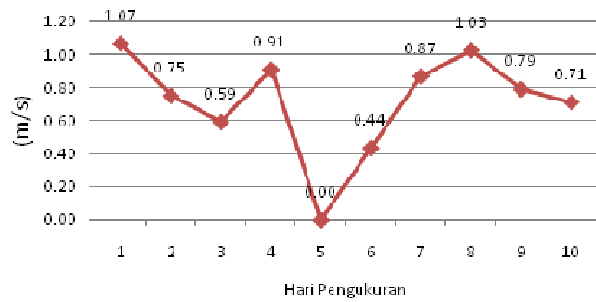
Berdasarkan hasil pengukuran di desa Bohusami, diperoleh potensi rata-rata energy surya sebesar 422,988 W/m<sup>2</sup>, dengan karateristik potensi energi surya harian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. berikut ini.



GAMBAR I

Karakteristik rata-rata harian intensitas radiasi matahari desa Bohusami

Sedangkan untuk kecepatan angin dari hasil pengukuran diperoleh karateristik rata-rata harian kecepatan angin sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2. berikut ini.



GAMBAR II

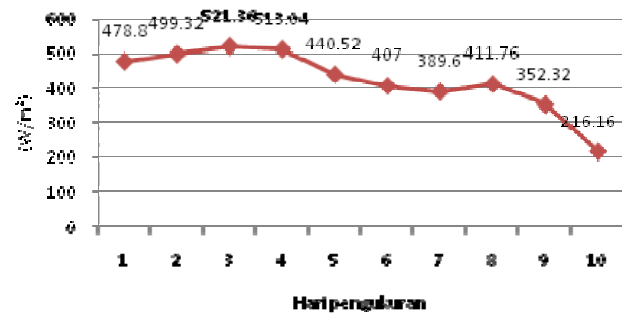
Karakteristik rata-rata harian kecepatan angin desa Bohusami

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh potensi rata-rata energi angin selama sepuluh hari sebesar 0,241 W/m<sup>2</sup>.

#### 2. Kabupaten Bone Bolango

Untuk daerah Kabupaten Bone Bolango, penelitian dilakukan di desa Inogaluma. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin dilakukan selama 10 hari dari tanggal 25 April s/d 4 Mei 2014.

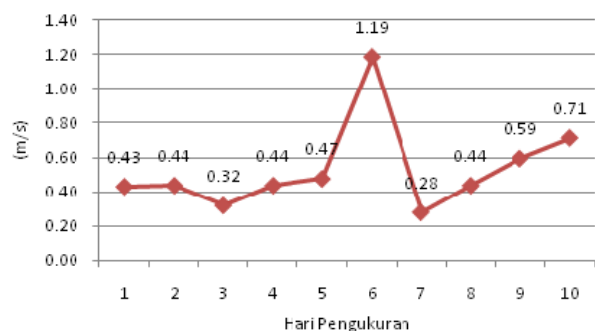
Berdasarkan hasil pengukuran di desa Inogaluma, diperoleh potensi rata-rata energy surya sebesar 357,06 W/m<sup>2</sup>, dengan karateristik potensi energi surya harian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3. berikut ini:



GAMBAR III.

Karakteristik rata-rata harian intensitas radiasi matahari desa Inogaluma

Sedangkan untuk kecepatan angin dari hasil pengukuran diperoleh karateristik rata-rata harian kecepatan angin sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4. berikut ini :



GAMBAR VI

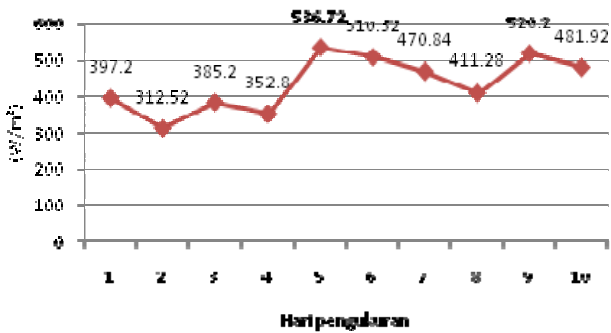
Karakteristik rata-rata harian kecepatan angin desa Inogaluma

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh potensi rata-rata energi angin selama sepuluh hari sebesar  $0,09 \text{ W/m}^2$ .

3. Kabupaten Gorontalo

Untuk daerah Kabupaten Gorontalo, penelitian dilakukan di desa Buhu. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin dilakukan selama 10 hari dari tanggal 17 s/d 26 Juni 2014.

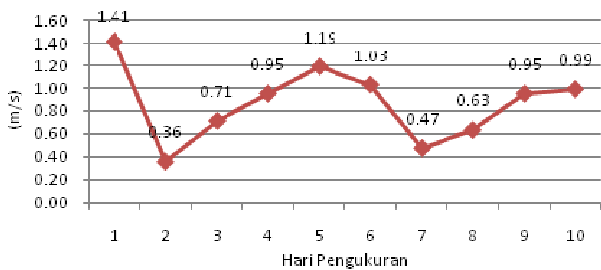
Berdasarkan hasil pengukuran di desa Buhu, diperoleh potensi rata-rata energy surya sebesar  $437,9 \text{ W/m}^2$ , dengan karakteristik potensi energi surya harian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5. berikut ini



GAMBAR V

Karakteristik rata-rata harian intensitas radiasi matahari desa Buhu

Sedangkan untuk kecepatan angin dari hasil pengukuran diperoleh karakteristik rata-rata harian kecepatan angin sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6. berikut ini :



GAMBAR VI

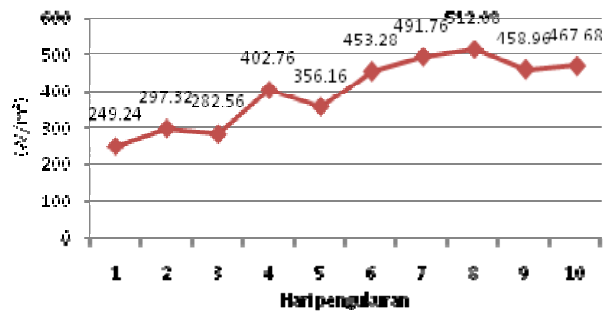
Karakteristik rata-rata harian kecepatan angin desa Buhu

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh potensi rata-rata energi angin selama sepuluh hari sebesar  $0,425 \text{ W/m}^2$ .

4. Kabupaten Boalemo

Untuk daerah Kabupaten Boalemo, penelitian dilakukan di desa Tutulo. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin dilakukan selama 10 hari dari tanggal 24 mei s/d 2 Juni 2014.

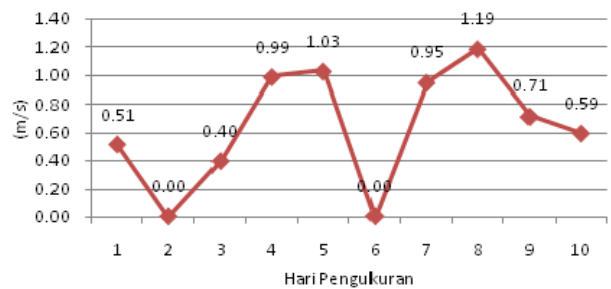
Berdasarkan hasil pengukuran di desa Tutulo, diperoleh potensi rata-rata energy surya sebesar  $397,18 \text{ W/m}^2$ , dengan karakteristik potensi energi surya harian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 7. berikut ini:



GAMBAR VII

Karakteristik rata-rata harian intensitas radiasi matahari desa Tutulo.

Sedangkan untuk kecepatan angin dari hasil pengukuran diperoleh karakteristik rata-rata harian kecepatan angin sebagaimana ditunjukkan pada gambar 8. berikut ini:



GAMBAR VIII

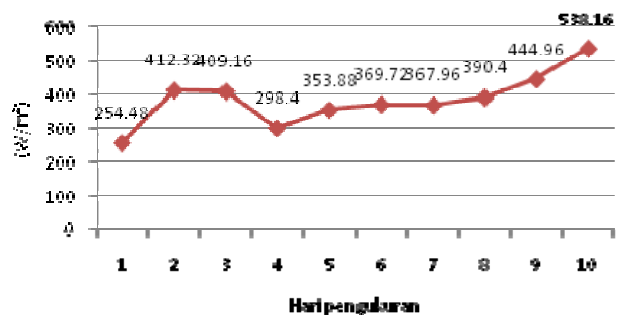
Karakteristik rata-rata harian kecepatan angin desa Tutulo

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh potensi rata-rata energi angin selama sepuluh hari adalah sebesar  $0,17 \text{ W/m}^2$ .

5. Kabupaten Pohuwato

Untuk daerah Kabupaten Pohuwato, penelitian dilakukan di desa Tunas Jaya. Pengukuran intensitas radiasi matahari dan kecepatan angin dilakukan selama 10 hari dari tanggal 10 s/d 19 mei 2014.

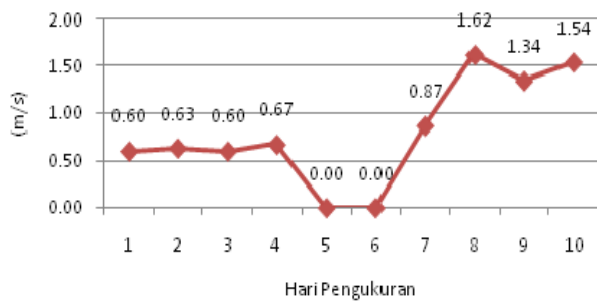
Berdasarkan hasil pengukuran di desa Tunas Jaya, diperoleh potensi rata-rata energy surya sebesar  $383,944 \text{ W/m}^2$ , dengan karakteristik potensi energi surya harian sebagaimana ditunjukkan pada gambar 9. berikut ini :



GAMBAR VIII

Karakteristik rata-rata harian intensitas radiasi matahari desa Tunas Jaya

Sedangkan untuk kecepatan angin dari hasil pengukuran diperoleh karakteristik rata-rata harian kecepatan angin sebagaimana ditunjukkan pada gambar 10. berikut ini:



GAMBAR X

Karakteristik rata-rata harian kecepatan angin desa Tunas Jaya

Berdasarkan grafik di atas, diperoleh potensi rata-rata energi angin selama sepuluh hari sebesar  $0,32 \text{ W/m}^2$ .

## V. KESIMPULAN

Dari pembahasan tentang karakteristik potensi energy surya dan energy angin pada lahan potensial agropolitan yang belum dimanfaatkan di atas, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Karakteristik potensi energy surya yang berada di Kabupaten Gorontalo Utara, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Pohuwato adalah sebagai berikut :
  - a) Kabupaten Gorontalo Utara, untuk desa Bohusami sebesar  $422,988 \text{ W/m}^2$ .
  - b) Kabupaten Bone Bolango, untuk desa Inogaluma sebesar  $357,06 \text{ W/m}^2$ .
  - c) Kabupaten Gorontalo untuk desa Buhu sebesar  $437,9 \text{ W/m}^2$
  - d) Kabupaten Boalemo, untuk desa Tutulo sebesar  $397,18 \text{ W/m}^2$
  - e) Kabupaten Pohuwato, untuk desa Tunas jaya sebesar  $383,944 \text{ W/m}^2$ .
2. Karakteristik potensi energy angin yang berada di Kabupaten Gorontalo Utara, Kabupaten Bone Bolango, Kabupaten Gorontalo, Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Pohuwato adalah sebagai berikut :
  - a) Kabupaten Gorontalo Utara, untuk desa Bohusami sebesar  $0,241 \text{ W/m}^2$ .
  - b) Kabupaten Bone Bolango, untuk desa Inogaluma sebesar  $0,09 \text{ W/m}^2$ .
  - c) Kabupaten Gorontalo, untuk desa Buhu sebesar  $0,425 \text{ W/m}^2$
  - d) Kabupaten Boalemo, untuk desa Tutulo sebesar  $0,17 \text{ W/m}^2$
  - e) Kabupaten Pohuwato, untuk desa Tunas Jaya sebesar  $0,32 \text{ W/m}^2$

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amali, Lanto dan Ferinawan,Dedi.,Karakteristik potensi Energi surya dan Energi Angin sebagai Alternatif dalam menunjang program agropolitan di propinsi Gorontalo. Prosiding Seminar Teknik Elektro dan Pendidikan Teknik Elektro. 2013. Universitas Negeri Surabaya.

- [2] Deptan.,Pedoman Pengembangan Kawasan Agropolitan. 2007.Gorontalo.
- [3] Daryanto,Y.,Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Balai PPTAGG-UPT\_LAGG. 2007.Yogyakarta.
- [4] [http://repository.usu.ac.id/Chapter II.pdf](http://repository.usu.ac.id/Chapter%20II.pdf). Intensitas Radiasi Surya (Tinjauan Pustaka), diakses tanggal 7 Oktober 2014.
- [5] Mohamad,Fadel.,Mewujudkan revitalisasi pertanian melalui pembangunan 9 (sembilan) pilar agropolitan menuju pertanian modern di Gorontalo. 1997.Gorontalo

# Perbandingan Kinerja Metode Penggabungan MAC-Physical Layer Sistem LMDS pada Kanal Gelombang Milimeter

Naemah Mubarakah<sup>1)</sup>, Suherman<sup>2)</sup>, Yulianta Siregar<sup>3)</sup>, Arman Sani<sup>4)</sup>  
<sup>1,2,3,4)</sup> Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara  
 Medan-Indonesia 20155  
 e-mail : naemah.mubarakah@gmail.com

**Abstrak**—Salah satu solusi untuk pemenuhan kebutuhan pelayanan *broadband* adalah dengan menggunakan transmisi *Local Multipoint Distribution System* (LMDS) yang beroperasi di frekuensi 20-40 GHz. Untuk aplikasi teknologi LMDS di negara tropis seperti Indonesia, redaman hujan akan menjadi permasalahan yang esensial mengingat daerah tropis mempunyai curah hujan tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan kinerja metode penggabungan MAC-Physical Layer pada sistem LMDS di daerah tropis. Dari hasil penelitian redaman hujan yang mencapai 38,2 dB dengan panjang link 4 km pada frekuensi 30 GHz, algoritma Joint Subcarrier and Power Allocation (JSPA) mampu memberikan hasil yang lebih baik. Berbagai metode trafik pada sistem LMDS pada kanal gelombang milimeter yang diterapkan menunjukkan hasil bahwa algoritma JSPA mampu memberikan kinerja yang baik yang mendekati kinerja jaringan pada saat kondisi cerah.

**Kata kunci** : Redaman Hujan, Kanal Gelombang Milimeter, OFDM downlink, MAC-Physical Layer

## I. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan akan pelayanan telekomunikasi *wireless* terus meningkat dengan cepat. Perkembangan internet yang sangat luar biasa mengakibatkan peningkatan permintaan terhadap layanan data secara *wireless*. Semua aplikasi akan membutuhkan perubahan yang luas dan jaminan QoS yang sangat berbeda untuk bermacam-macam tipe trafik yang ditawarkan. Mekanisme yang bermacam-macam telah diusulkan dan saat ini disebarkan untuk mendukung trafik data pada media *wireless*. Hal ini disusun pada *range* dari WLANs (Wireless Local Area Networks), berdasarkan IEEE 802.11b atau standar HiperLAN, sampai ke WWANs (Wireless Wide Area Networks) dimana layanan data didukung oleh versi sistem 2,5G dan 3G [1] dan standar IEEE 802.16 dimana layanan data didukung oleh versi sistem 4G [2].

Salah satu permasalahan propagasi pada sistem komunikasi yang beroperasi pada frekuensi diatas 10 GHz seperti layanan *broadband* yang menggunakan *Local Multipoint Distribution System* (LMDS) yang beroperasi di frekuensi 20-40 GHz adalah redaman yang disebabkan oleh hujan. Redaman hujan mengakibatkan terjadinya *fading* yaitu peristiwa pelemahan sinyal yang diterima oleh antena

penerima berada dibawah batas *threshold*. Peristiwa *fading* ini sangat berpengaruh pada penyampaian gelombang elektromagnetik karena dapat menyebabkan sinyal yang diterima akan terganggu. Untuk aplikasi teknologi LMDS di negara tropis seperti Indonesia, redaman hujan yang merupakan fungsi distribusi ukuran titik hujan akan menjadi permasalahan yang esensial mengingat daerah tropis mempunyai curah hujan tinggi. Redaman hujan yang terjadi dapat mencapai 80 dB pada sistem dengan frekuensi 29 GHz dengan panjang *link* 5,7 km [3].

Untuk mengatasi *frequency-selective fading* dan mendukung data berkecepatan tinggi digunakan sistem *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM), yang membagi suatu kanal besar ke dalam beberapa subkanal *narrowband* yang saling orthogonal. Pada sistem OFDM meskipun terjadi saling *overlap* (tumpang tindih) antar frekuensi yang bersebelahan, informasi masih tetap dapat diterima dengan baik tanpa adanya interferensi [1]. Untuk meningkatkan kualitas dan kapasitas layanan pada sistem yang sudah ada selama ini dilakukan pada *layer* (lapisan) yang terpisah namun hasilnya kurang optimal. Untuk itu dikembangkan mekanisme baru dalam *framework* (kerangka kerja) yang terintegrasi untuk mengoptimalkan kinerja dua *layer* yang berdekatan, yaitu *Physical* (PHY) *Layer* dan *Media Access Control* (MAC) *layer*.

Pada penelitian ini penulis memfokuskan pada perbandingan kinerja metode penggabungan dua *layer* yang berdekatan, yaitu *Physical* (PHY) *Layer* dan *Media Access Control* (MAC) *layer* pada OFDM multiuser ini yang dilakukan dengan teknik *dynamic subcarrier allocation* (DSA), *adaptive power allocation* (APA) dan gabungan DSA dan APA (JSPA), sehingga diharapkan dapat meningkatkan *quality of service* (QoS) dan efisien jaringan *broadband* di wilayah tropis khususnya untuk wilayah Indonesia.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

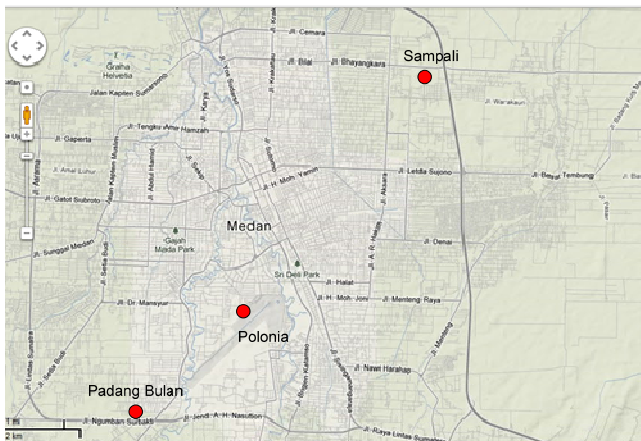
Penelitian dilakukan di Medan. Adapun diagram alir kerjanya seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### B. Pengukuran Data

Kota Medan termasuk pada daerah yang mempunyai curah hujan cukup tinggi. Mengingat karena cukup tingginya curah hujan pada kota Medan, maka hal ini akan berhubungan dengan besarnya redaman hujan pada kota Medan sehingga sinyal komunikasi akan mengalami gangguan yang cukup serius. Untuk itu pada penelitian ini dilakukan pengambilan sampel pada tiga titik yaitu daerah Padang Bulan, daerah Polonia dan daerah Sampali seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta lokasi pengambilan sampel

### C. Redaman Hujan

Salah satu permasalahan propagasi pada sistem komunikasi yang beroperasi pada frekuensi diatas 10 GHz adalah redaman yang disebabkan oleh hujan. Redaman yang diakibatkan oleh curah hujan memberikan pengaruh yang sangat besar di dalam sistem komunikasi terutama sistem komunikasi nirkabel. Hujan menyebabkan beberapa fenomena pada propagasi gelombang elektromagnetik diantaranya redaman sinyal, penambahan *noise* temperature dan perubahan polarisasi [4]. Ketiga fenomena tersebut menyebabkan degradasi kualitas sinyal yang diterima terutama pada penggunaan frekuensi tinggi seperti *Ka-band*. Dari beberapa efek hujan diatas, redaman sinyal merupakan efek yang paling signifikan pada keberhasilan komunikasi

pada gelombang millimeter. Untuk sistem komunikasi nirkabel gelombang milimeter (10 - 40 GHz), redaman yang diakibatkan oleh hujan cukup besar dan dapat mengurangi keandalan sistem [3].

Redaman hujan pada lintasan dari suatu lintasan propagasi dengan panjang  $L$  (km) dapat dinyatakan :

$$A = \int_0^L aR(z)^b dz \quad (1)$$

dengan :

$A$  = redaman hujan (dB)

$R(z)$  = curah hujan (mm/h) pada suatu titik

$a$  dan  $b$  = parameter yang tergantung pada polarisasi dan frekuensi gelombang radio (Tabel 1) [5]

TABLE I  
PARAMETER K DAN A TERHADAP FREKUENSI DAN POLARISASI

Frekuensi (GHz)	$k_H$	$k_V$	$\alpha_H$	$\alpha_V$
1	0.0000387	0.0000352	0.912	0.880
2	0.000154	0.000138	0.963	0.923
4	0.000650	0.000591	1.121	1.075
6	0.00175	0.00155	1.308	1.265
7	0.00301	0.00265	1.332	1.312
8	0.00454	0.00395	1.327	1.310
10	0.0101	0.00887	1.276	1.264
12	0.0188	0.0168	1.217	1.200
15	0.0367	0.0335	1.154	1.128
20	0.0751	0.0691	1.099	1.065
25	0.124	0.113	1.061	1.030
30	0.187	0.167	1.021	1.000
35	0.263	0.233	0.979	0.963
40	0.350	0.310	0.939	0.929
45	0.442	0.393	0.903	0.897
50	0.536	0.479	0.873	0.868
60	0.707	0.642	0.826	0.824
70	0.851	0.784	0.793	0.793
80	0.975	0.906	0.769	0.769
90	1.06	0.999	0.753	0.754
100	1.12	1.06	0.743	0.744
120	1.18	1.13	0.731	0.732
150	1.31	1.27	0.710	0.711
200	1.45	1.42	0.689	0.690
300	1.36	1.35	0.688	0.689
400	1.32	1.31	0.683	0.684

### D. Perhitungan rugi-rugi pada sistem LMDS

Dalam pembangunan dan pengolahan data pada sistem LMDS terlebih dahulu dilakukan pembangkitan nilai redaman untuk masing-masing *user* yang kemudian dilakukan perhitungan SNR *clear sky* dari masing-masing posisi *user* tersebut. Dari hasil ini dapat diketahui berapa daya dan *subcarrier* yang dialokasikan oleh pemancar terhadap masing-masing *user* dalam penerapan metode penggabungan MAC-Physical layer. Untuk parameter LMDS nya dapat kita lihat pada Tabel 2 [2].

TABLE II  
PARAMETER SISTEM LMDS (K = 1,38.10<sup>-23</sup> DAN T<sub>0</sub> = 298 K)

Parameter	Units	Formula	Value
Transmit Power into Antenna	dBW	Ptx: transmit power per carrier	0
Transmit antenna gain	dBi	Gt:Gant	15
Frequency	GHz	f: Transmit frequency	30
Path Length	Km	d: Hub to Subscriber Station Range	2
Field Margin	dB	Lfm : Antenna Mis-Alignment	-1
Free-Space Loss	dB	FSL = -92.45-20log(f)-20log(d)	-128,013
Total Path Loss	dB	Ltot = FSL + LFM	-129,013
Receiver Antenna Gain	dBi	Gr = Gant	30
Effective Bandwidth Receiver	MHz	BRF : Receiver Noise Bandwidth	80
Noise Figure Thermal	dB	NF : Effective Noise Figure	5
Noise Power Spectral density	dBW/MHz	10log(kTo)	-143,85
System Loss	dB	Lsys=Gt+Ltot+Gr	-84,013
Received Signal Level Thermal	dBw	RSL=Ptx+Lsys	-84,013
Noise Power Spectral density	dBW/MHz	N0=10log(kTo)+NF	-138,859
Carrier to Noise ratio	dB	C/N = RSL-No-10log(BRF)	35,8151

### E. Metode Penggabungan MAC-Physical Layer

Metode Penggabungan MAC-Physical Layer atau yang dikenal cross layer ini meliputi tiga metode yaitu Alokasi Subcarrier Dinamis (DSA), Alokasi Daya Adaptif (APA) dan Gabungan Alokasi Daya dan Subcarrier (JPSA).

Tujuan dari DSA adalah untuk meningkatkan unjuk kerja jaringan berbasis OFDM pada saat daya transmisi terdistribusi secara seragam pada seluruh *band* frekuensi. Untuk menghitung kapasitas  $c_i(f)$  yang ditransmisikan dapat dirumuskan dengan [1] :

$$c_i(f) = \log_2 \left( 1 + \frac{\beta p(f) |H_i(f)|^2}{N_i(f)} \right) \quad (2)$$

$$c_i(f) = \log_2 (1 + \beta p(f) \rho_i(f)) \quad \left( \frac{\text{bps}}{\text{Hz}} \right) \quad (3)$$

dengan :

$$\beta = \frac{1,5}{-\ln(5BER)} \quad \text{dan} \quad \rho_i(f) = \frac{|H_i(f)|^2}{N_i(f)}$$

dimana :

$c_i(f)$  = Kapasitas pada user i pada frekuensi  $f$

$\beta$  = Nilai konstanta untuk mendapatkan nilai BER yang diinginkan

$p(f)$  = Daya

$\rho_i(f)$  = Kondisi kanal

$H_i(f)$  = gain kanal pada user i pada subcarrier frekuensi  $f$

$N_i(f)$  = daya noise pada user i pada subcarrier frekuensi  $f$

Jika daya yang ditransmisikan dinormalisasi, dimana  $p(f) = 1$ , kemudian untuk mencapai *throughput* pada frekuensi  $f$ ,  $c_i(f)$ , dapat diekspresikan pada persamaan 4.

$$c_i(f) = \log_2 (1 + \beta \rho_i(f)) \quad (4)$$

Setiap *user* atau setiap sesi memiliki bobot yang dinyatakan sebagai CSI dan berhubungan dengan waktu antrian. Bobot tersebut mengindikasikan fungsi utilitas yang digunakan untuk optimisasi *crosslayer* dan keseimbangan antara efisiensi dan *fairness*. Untuk trafik *best effort* (trafik non-real time) mengadopsi fungsi utilitas dengan  $r = x$  kbps dan dirumuskan sebagai [6] :

$$U_i(r_i) = 0,16 + 0,8 \ln(r_i - 0,3) \quad (5)$$

dengan :

$$U_i = \text{Utility pada user ke } i$$

$$r_i = \text{Data rate pada user ke } i$$

Tujuan akhirnya adalah untuk memaksimalkan jumlah utilitas keseluruhan *user* dimana pada DSA untuk memaksimalkan keadilan pelayanan terhadap *user* (*fairness*) yang dirumuskan dengan :

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i(r_i) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i \left( \int_{D_i} c_i(f) df \right) \quad (6)$$

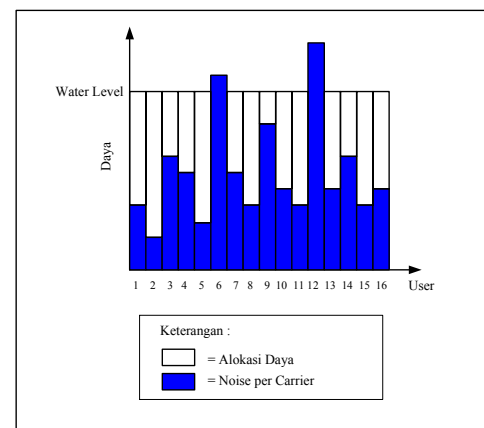
dengan  $M$  menyatakan sebagai jumlah *user*. Jumlah keseluruhan *subcarrier* dari  $M$  *user* adalah total *bandwidth* yang tersedia yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\bigcup_{i=1}^M D_i \subseteq [0, B] \quad (7)$$

$$D_i \cap D_j = \emptyset, \quad i \neq j \quad \text{dan} \quad i, j = 1, 2, \dots, M \quad (8)$$

dengan  $D_i$  menyatakan sebagai *subcarrier* untuk *user*  $i$  dan  $r_i$  adalah *data rate* dari *user*  $i$

Pengoptimalan kinerja APA dilakukan untuk mencapai kualitas BER sinyal informasi. Salah satu contohnya adalah dengan algoritma *water-filling* [7], yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Algoritma *water-filling*

Algoritma *water-filling* digunakan sebagai fungsi untuk memperoleh alokasi daya yang optimal. Pada teorema ini pembagian *subcarrier* adalah tetap,  $D_i$  untuk semua *user*  $i$ ,



alokasi daya optimum  $p^*(f)$  memenuhi persamaan (Song 2005) :

$$p^*(f) = \left[ \frac{U_i'(r_i^*)}{\lambda} - \frac{1}{\beta \rho_i(f)} \right]^+, \quad \lambda > 0$$

$$f \in D_i$$
(9)

dengan  $\lambda$  adalah konstanta untuk normalisasi rapat daya optimal.

$$[x]^+ = \begin{cases} x & , x \geq 0 \\ 0 & , x < 0 \end{cases}$$

dan  $p^*$  dan  $r_i^*$  memenuhi

$$\frac{1}{B} \int_0^B p^*(f) df = 1$$

dan

$$r_i^* = \int_{D_i} \log_2 [1 + \beta p^*(f) \rho_i(f)] df$$

dengan  $r_i^*$  dan  $p^*(f)$  adalah nilai optimal bit rate dan rapat daya.

Pada algoritma *water-filling* setiap *user* mempunyai nilai marginal utilitas  $U_i(r_i)$  tertentu. Daya yang diperoleh merupakan daya transmisi total dibandingkan dengan daya setiap *user*. Jika pencapaian *throughput* yang sebagai fungsi alokasi daya, maka :

$$c_i(f) = \int_{D_i^*} \log_2 (1 + \beta \rho_i(f) df) \quad (10)$$

Jika penempatan *subcarrier* tetap, optimisasi APA dapat diformulasikan sebagai penempatan *subcarrier* yang diberikan  $D_i$  untuk  $i = 1, 2, \dots, M$ , rapat daya  $p(f)$ , untuk memaksimalkan :

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i(r_i) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i \left( \int_{D_i^*} \log_2 (1 + \beta \rho_i(f) df) \right) \quad (11)$$

dengan :

$$\frac{1}{B} \int_0^B p(f) df \leq 1 \quad \text{dan} \quad p(f) \geq 0 \quad (12)$$

Untuk alokasi daya pada JSPA memakai teknik APA dan untuk alokasi *subcarrier* digunakan teknik DSA. Teknik JSPA ini dapat digunakan secara simultan untuk mengoptimasi *cross-layer* sehingga dicapai nilai *fairness* yang optimum. Untuk mencapai *fairness*, optimasi gabungan DSA dan APA dapat dirumuskan dengan :

$$\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i(r_i) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i \left( \int_{D_i} \log_2 [1 + \beta p^*(f) \rho_i(f)] df \right) \quad (13)$$

### III. HASIL DAN ANALISIS

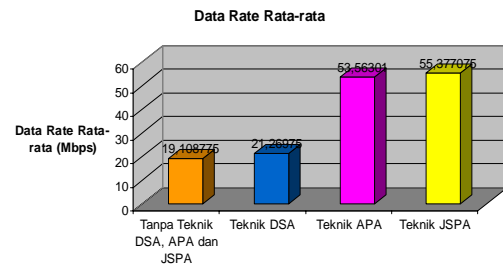
Dari penerapan ketiga algoritma ini diperoleh hasil perbandingan kapasitas transmisi sistem. Pada kondisi *clear sky*, 99,99 % kapasitas rata-rata berada di atas 7,7 bps/Hz. Sedangkan pada kondisi terpengaruh redaman hujan tanpa teknik DSA, APA dan JSPA hanya 76,97% kapasitas rata-rata yang berada di atas 7,7 bps/Hz. Penggunaan teknik DSA tidak menunjukkan adanya peningkatan persentase

nilai kapasitas rata-rata. Akan tetapi dengan menggunakan teknik APA dan JSPA menunjukkan adanya peningkatan persentase. Untuk teknik APA dan JSPA masing-masing mempunyai 80,02% dan 86,21% nilai kapasitas rata-rata di atas 7,7 bps/Hz. Terlihat adanya peningkatan 3,02 % untuk teknik APA dan 9,24% untuk teknik JSPA. Ini dapat kita lihat pada Tabel 3.

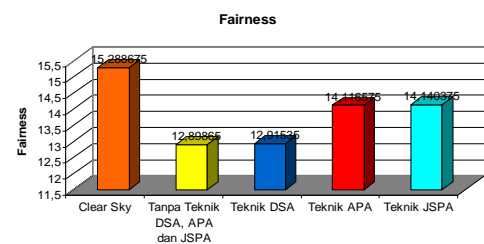
TABLE III  
PERBANDINGAN KAPASITAS SISTEM DI ATAS 7,7 BPS/Hz

No	Kondisi	Persentase
1	Kondisi cerah	99,99 %
2	Kondisi buruk terpengaruh redaman hujan	76,97 %
3	Kondisi buruk terpengaruh redaman hujan dengan menggunakan algoritma DSA	76,98 %
4	Kondisi buruk terpengaruh redaman hujan dengan menggunakan algoritma APA	80,02 %
5	Kondisi buruk terpengaruh redaman hujan dengan menggunakan algoritma JSPA	86,21 %

Untuk perbandingan data rate dan *fairness* sistem dapat kita lihat pada Gambar 4 dan 5.

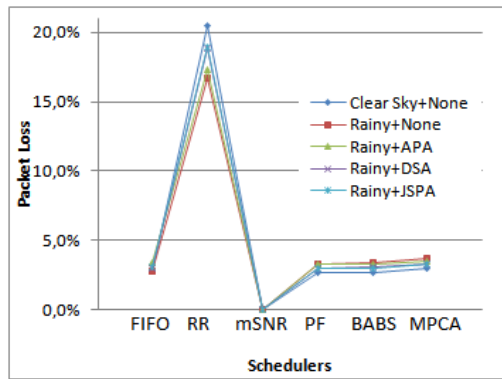


Gambar 4. Perbandingan data rate sistem

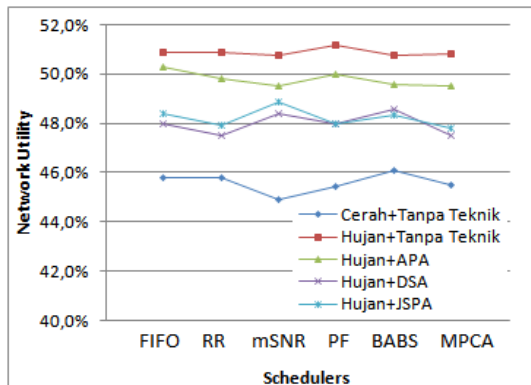


Gambar 5. Perbandingan *fairness* sistem

Dari hasil penelitian diperoleh jika jaringan tersebut diberlakukan metode penggabungan MAC-Physical Layer, ini akan dapat meningkatkan kinerja sistem dibandingkan tanpa adanya penerapan metode ini. Dari ketiga algoritma, maka diperoleh algoritma JSPA lah yang terbaik hasilnya. Sebagai perbandingan untuk berbagai model trafik diperoleh perbandingan kinerja dari berbagai metode penggabungan MAC-Physical layer yang hasilnya dapat dilihat seperti pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Perbandingan Kinerja Paket



Gambar 7. Perbandingan Kinerja Utilitas Jaringan

#### IV. KESIMPULAN

Dengan dilakukannya metode Penggabungan MAC-Physical Layer akan dapat meningkatkan kinerja jaringan telekomunikasi hal ini dapat dilihat dari adanya peningkatan kapasitas sistem pada kondisi yang buruk yang terpengaruh oleh redaman hujan dimana teknik APA mampu memberikan peningkatan 3.96 % dan 12 % untuk teknik JSPA.

Dari berbagai model trafik yang dilakukan, diperoleh bahwa penerapan algoritma JSPA pada kondisi cuaca buruk hampir mampu mendekati kinerja jaringan pada kondisi cuaca baik. Dengan begitu dapat disimpulkan penerapan Metode Penggabungan *MAC-Physical Layer* ini sangat baik dilakukan untuk komunikasi *broadband* terutama di negeri tropis seperti Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Song, G. dan Ye Li, "Cross-layer Optimization for OFDM Wireless Networks-part I : Theoretical Framework", *IEEE Transaction on Wireless Communications* Vol.4 No.2, 2005.
- [2] Chu C.Y dan Chen K.S, "Effects of Rain Fading on the Efficiency of the Ka-Band LMDS System in the Taiwan Area", *IEEE Transaction On Vehicular Technology*, Vol. 54 No. 1 hal. 9-19, 2005.
- [3] Salehudin, M., Hanantasena, B., Wijdemann, L., "Ka Band Line-of-Sight Radio Propagation Experiment in Surabaya Indonesia", *5<sup>th</sup> Ka-Band Util. Conf.*, hal. 161-165, Taormina, Italy, 1999.
- [4] Crane, R. K., *Propagation Handbook for Wireless Communication System Design*, CRC Press, 2003.
- [5] Naemah Mubarakah, Soeharwinto, Fakhruddin Rizal B. Optimizing OFDM Downlink Performance on LMDS System. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Vol.2 - Issue 11 (November - 2013).
- [6] Song, G., dan Ye Li, "Cross-layer Optimization for OFDM Wireless Networks-Part II : Algorithm Development", *IEEE Transaction on Wireless Communications* Vol.4 No.2., 2005.

- [7] Pfletschinger S, Münz G, Speidel J, "An Efficient Waterfilling Algorithm for Multiple Access OFDM", *IEEE Global Telecommunications Conference (Globecom '02)*, Taiwan, 2002.

# Rancangan Band Pass Filter Pada Komunikasi VHF Air To Ground di Bandara Budiarto dengan menggunakan Komponen Lumped Orde Tiga

Iga Ayu Mas Oka

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tanggerang

I Komang Aditya Prawirayana

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tanggerang

**Abstract**— Perancangan rangkaian bandpass filter ini menggunakan komponen lumped yang berupa induktor (L) dan kapasitor (C). Berdasarkan hasil simulasi, didapat nilai return loss melebihi batas ketentuan maksimum yaitu  $(S_{11}) = -10$  dB, insertion loss  $(S_{21}) \approx 0$  dB, pada frekuensi tengah 123 Mhz yang merupakan frekuensi dari peralatan komunikasi Air to Ground (A/G) di Bandara Budiarto. Perancangan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Advance Design System (ADS) yang ditambahkan dengan optimasi rangkaian. Rangkaian Filter menggunakan komponen lumped orde 3 ini dapat menghasilkan bandwidth yang sempit hingga 4,7 kHz ketika sudah dilakukan optimasi.

**Kata Kunci**— Bandpass Filter, Bandwidth, Return Loss, Insertion Loss

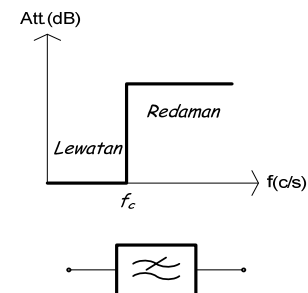
## I. PENDAHULUAN

Komunikasi antara Pilot dengan *Air Traffic Controller* (ATC) pada penerbangan menggunakan peralatan yang bekerja pada *Very High Frequency* (VHF) yaitu di frekuensi 111,975-137 MHz dengan spasi antar *channel* adalah 8,33 kHz, seperti yang diatur dalam Annex 10 Vol.V *Aeronautical Radio Frequency Spectrume Utilization*. Dalam Annex tersebut juga mengatur bahwa transmitter yang digunakan harus memiliki *bandwidth* yang sempit agar tidak terjadi interferensi dari frekuensi lain. Hal ini menyebabkan transmitter membutuhkan rangkaian *filter* yang mampu melewatkan frekuensi tertentu dengan *bandwidth* sempit.

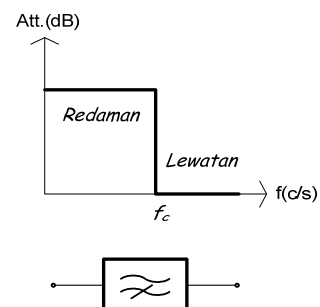
*Filter* adalah sebuah rangkaian yang dirancang agar melewatkan suatu pita frekuensi tertentu dengan melemahkan semua frekuensi di luar pita yang ditentukan. Jaringan-jaringan *filter* biasa bersifat aktif maupun pasif. *Filter* pasif hanya berisi tahanan, induktor, dan kapasitor saja, sedangkan *filter* aktif menggunakan transistor atau *Operational Amplifier* (Op-Amp) yang ditambah dengan tahanan, induktor, dan kapasitor. Ada beberapa jenis *filter*, yaitu:

*Lowpass Filter* adalah jenis *filter* yang melewatkan spektrum frekuensi rendah, sementara spektrum frekuensi tingginya akan diredam.

*Highpass Filter* adalah jenis *filter* yang melewatkan spektrum frekuensi tinggi dan meredam spektrum frekuensi rendah.

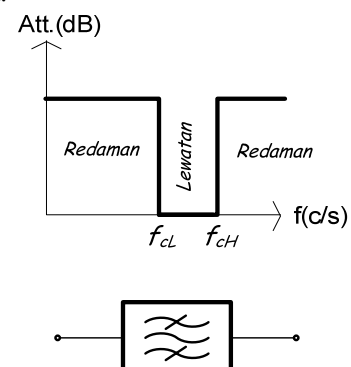


Gambar 1. Kurva & Simbol Lowpass filter



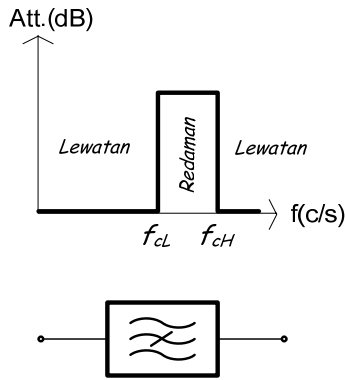
Gambar 2. Kurva & Simbol Highpass Filter

*Bandpass Filter* adalah jenis *filter* yang melewatkan pita spektrum frekuensi tertentu dengan memiliki frekuensi batas atas dan bawah.



Gambar 3. Kurva & Simbol Bandpass filter

*Bandstop Filter* adalah jenis *filter* yang meredam frekuensi tertentu dan meneruskan frekuensi di luar frekuensi yang ditentukan.



Gambar 4. Kurva & Simbol Bandstop Filter

Parameter penting dalam suatu rangkaian *Band Pass Filter* adalah lebar pita atau *bandwidth* ( $\Delta f$  atau B), dan selektivitas (Q). Selektivitas didefinisikan sebagai perbandingan antara frekuensi tengah ( $f_c$ ) terhadap lebar pita ( $\Delta f$ ) yang dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = \frac{f_c}{\Delta f}$$

Dan lebar pita atau *bandwidth* adalah lebar dari daerah pita frekuensi yaitu selisih besar frekuensi *cut off* atas ( $f_{USB}$ ) dengan frekuensi *cut off* bawah ( $f_{LSB}$ ), yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta f = f_{USB} - f_{LSB}$$

Bedasarkan rumus di atas memberikan suatu ukuran lebar pita yang relatif pada rangkaian *Band Pass Filter*. Makin tinggi harga Q maka makin sempit lebar pitanya karena itu filter ini menjadi semakin selektif.

Dalam merancang *bandpass filter*, dapat menggunakan perhitungan untuk rangkaian seri yaitu sebagai berikut:

$$L_s = \frac{\left( \frac{R_o}{(f_{2c} - f_{1c})\pi} \right)}{2}$$

Dan

$$C_s = 2 \left( \frac{f_{2c} - f_{1c}}{R_o (f_{2c} \times f_{1c}) 4\pi} \right)$$

Sedangkan untuk rangkaian paralel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L_p = 2 \left( \frac{R_o (f_{2c} - f_{1c})}{(f_{2c} \times f_{1c}) 4\pi} \right)$$

Dan

$$C_p = \frac{\left( \frac{1}{R_o (f_{2c} - f_{1c})\pi} \right)}{2}$$

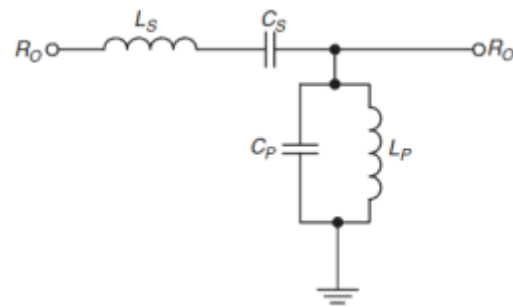
Di mana,

$R_o = Z_{in}$  dan  $Z_{out}$  dari filter

$f_{2c}$  = batas frekuensi atas

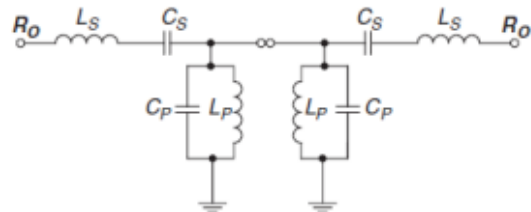
$f_{1c}$  = batas frekuensi bawah

Dengan menggunakan perhitungan rangkaian seri dan paralel akan mendapatkan setengah rangkaian *bandpass filter* seperti gambar berikut:



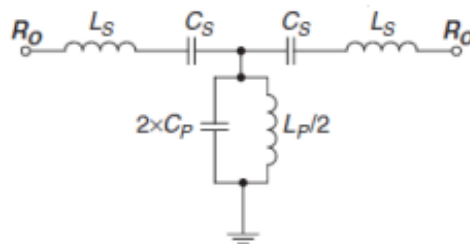
Gambar 5. Setengah bagian Bandpass filter

Setelah mendapat nilai komponen dari setengah bagian rangkaian, maka kita perlu menjadikan rangkaian ordo 3 dengan menambahkan rangkaian sesuai pada gambar:



Gambar 6. Penambahan rangkaian

Dengan penggabungan tersebut maka nilai komponen kapasitor yang paralel menjadi dua kalinya sedangkan nilai komponen induktor paralel menjadi setengahnya.



Gambar 7. Penggabungan Rangkaian

## II. METODE PERANCANGAN

Parameter dari perancangan *filter* ini berupa  $S_{11}$  maksimum adalah -10 dB untuk masing-masing batas frekuensi atas dan bawah,  $S_{21}$  dengan nilai  $\approx 0$  dB. Dengan *bandwidth* 15 kHz.

Untuk merancang *bandpass filter*, pertama perlu dilakukan penghitungan terhadap masing-masing komponen yaitu sebagai berikut.

- Induktor seri ( $L_s$ )

$$L_s = \frac{\left( \frac{R_o}{(f_{2c} - f_{1c})\pi} \right)}{2}$$

$$L_s = \frac{\left( \frac{50}{(123,0085 - 122,9925)\pi} \right)}{2}$$

$$L_s = 468,103 \text{ nH}$$

- Kapasitor Seri ( $C_s$ )

$$C_s = 2 \left( \frac{f_{2c} - f_{1c}}{R_o (f_{2c} \times f_{1c}) 4\pi} \right)$$

$$C_s = 2 \left( \frac{123,0085 - 122,9925}{50(123,0085 \times 122,9925) 4\pi} \right)$$

$$C_s = 3,58 \text{ pF}$$

- Induktor paralel ( $L_p$ )

$$L_p = 2 \left( \frac{R_o (f_{2c} - f_{1c})}{(f_{2c} \times f_{1c}) 4\pi} \right)$$

$$L_p = 2 \left( \frac{50(123,0085 - 122,9925)}{(1123,0085 \times 122,9925) 4\pi} \right)$$

$$L_p = 0,00894 \text{ nH}$$

- Kapasitor paralel ( $C_p$ )

$$C_p = \frac{1}{R_o (f_{2c} - f_{1c}) \pi}$$

$$C_p = \frac{1}{50(123,0085 - 122,9925) \pi}$$

$$C_p = 187,2 \text{ pF}$$

Dari hasil perhitungan tersebut didapat nilai komponen dari setengah bagian *bandpass filter* adalah sebagai berikut:

$$C_s = 3,58 \text{ pF} \quad L_s = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_p = 187,2 \text{ pF} \quad L_p = 0,00894 \text{ nH}$$

Selanjutnya untuk menghasilkan rangkaian *bandpass filter* orde 3 dilakukan penggabungan dua rangkaian setengah bagian *bandpass filter* dan hasil dari penggabungan komponen adalah sebagai berikut:

$$C_s = 3,58 \text{ pF}$$

$$L_s = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_p = 2 \times 187,2 \text{ pF} = 374,4 \text{ pF}$$

$$L_p = \frac{1}{2} \times 0,00894 \text{ nH} = 0,00447 \text{ nH}$$

Nilai-nilai komponen yang didapatkan kemudian mengalami optimasi untuk mendapat hasil yang lebih maksimal. Optimasi dilakukan 2 kali dengan cara yang berbeda, yaitu:

1. Mengubah nilai kapasitor  $C_1, C_2, C_3$
2. Menaikan nilai induktor  $L_2$ , menurunkan nilai kapasitor  $C_2$ .

### III. HASIL SIMULASI

Perancangan *bandpass filter* ini menggunakan *software Advance Design System (ADS)* untuk mengetahui hasil simulasi dari rangkaian *bandpass filter* yang telah didapat pada metode perancangan. Rangkaian *bandpass filter* selanjutnya dirangkai dalam *software ADS*, di mana  $L_1 = L_2 = L_s$ ,  $C_1 = C_2 = C_s$ ,  $L_3 = L_p$  dan  $C_3 = C_p$ , seperti gambar berikut ini.



Gambar 8. Rangkaian Bandpass Filter

Nilai masing-masing komponen adalah sebagai berikut:

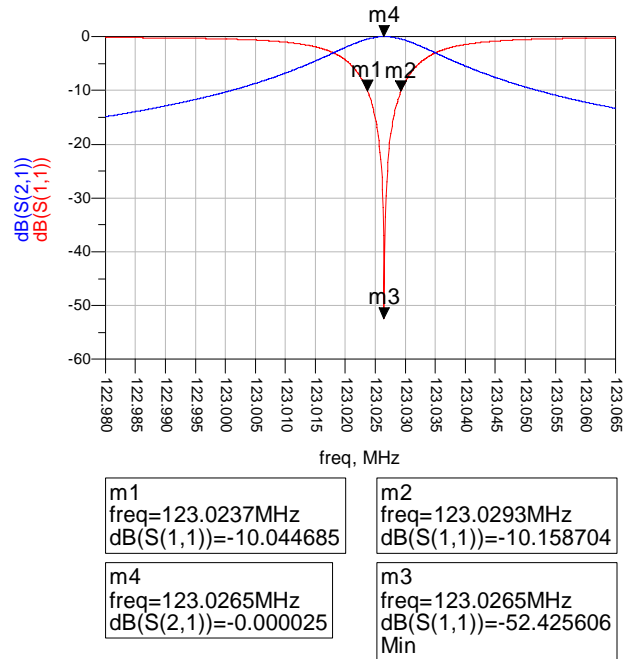
$$\text{Term } Z_{in} = 50 \Omega \quad \text{Term } Z_{out} = 50 \Omega$$

$$C_1 = 3,58 \text{ pF} \quad L_1 = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_2 = 3,58 \text{ pF} \quad L_2 = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_3 = 374,4 \text{ pF} \quad L_3 = 0,00447 \text{ nH}$$

Dari rangkaian tersebut didapatkan hasil simulasi S-Parameter dengan penggabungan kurva  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 9. Kurva Bandpass Filter Sebelum Optimasi

Pada gambar terlihat di titik marker m1, *insertion loss*  $S_{21}$  mencapai  $-0,000025$  dB dan *return loss* di marker m3 dengan nilai sebesar  $-52,425606$  dB pada frekuensi tengah  $123,0265$  MHz. Untuk menghitung bandwidth digunakan kurva  $S_{11}$  di  $-10$  dB, didapat titik marker m1 yaitu pada frekuensi  $123,0237$  MHz, sedangkan titik marker m2 pada frekuensi  $123,0293$  MHz. Dari kedua nilai tersebut *bandwidth* dari *bandpass filter* bisa diketahui yaitu :

$$\Delta f = f_{USB} - f_{LSB}$$

$$\Delta f = 123,0293 \text{ MHz} - 123,0237 \text{ MHz}$$

$$\Delta f = 0,0056 - 5,6 \text{ kHz}$$

Bandwidth yang didapatkan sangat sempit sehingga tidak menginterferensi *channel* lainnya yang memiliki spasi antar *channel* sebesar  $8,33$  kHz.

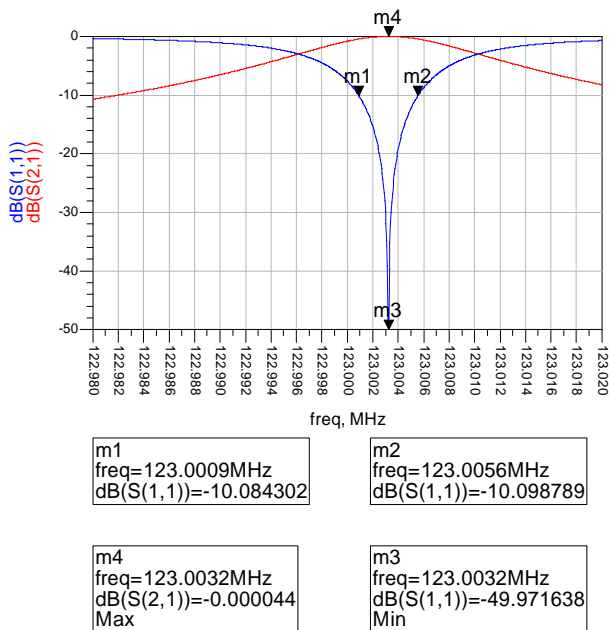
Hasil tersebut kemudian dioptimasi agar mendapat hasil yang mendekati parameter yang diinginkan dengan mengubah sedikit nilai semua kapasitor sebagai berikut:

$$C_1 = 3,666 \text{ pF} \quad L_1 = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_2 = 3,666 \text{ pF} \quad L_2 = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_3 = 373,9752 \text{ pF} \quad L_3 = 0,004477 \text{ nH}$$

Dari rangkaian optimasi tersebut didapatkan hasil simulasi S-Parameter setelah dilakukan optimasi. Penggabungan kurva  $S_{11}$  dan  $S_{21}$  dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 10. Kurva Bandpass Filter setelah Optimasi Pertama

Pada gambar terlihat di titik marker m1, *insertion loss*  $S_{21}$  mencapai  $-0,000044$  dB dan *return loss* di marker m3 dengan nilai sebesar  $-49,971638$  dB pada frekuensi tengah  $123,0032$  MHz. Untuk menghitung bandwidth digunakan kurva  $S_{11}$  di  $-10$  dB, didapat titik marker m1 yaitu pada frekuensi  $123,0009$  MHz, sedangkan titik marker m2 pada frekuensi  $123,0056$  MHz. Dari kedua nilai tersebut *bandwidth* dari bandpass filter bisa diketahui yaitu :

$$\Delta f = f_{USB} - f_{LSB}$$

$$\Delta f = 123,0056 \text{ MHz} - 123,0009 \text{ MHz}$$

$$\Delta f = 0,0047 = 4,7 \text{ kHz}$$

Bandwidth yang didapatkan lebih sempit sebesar:

$$5,6 \text{ kHz} - 4,7 \text{ kHz} = 0,9 \text{ kHz}$$

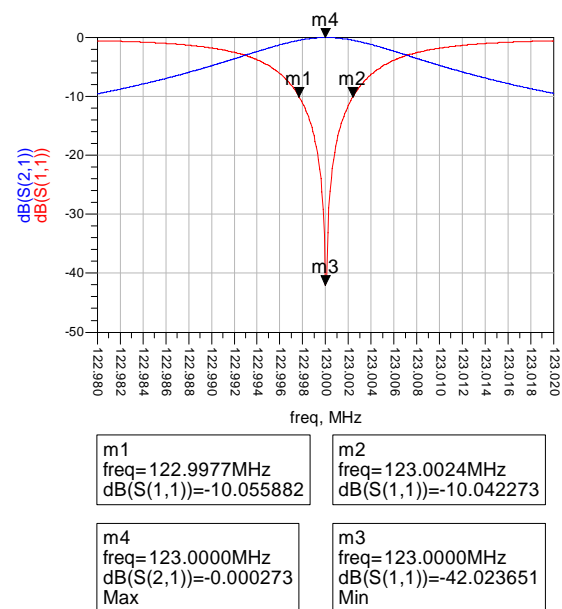
Ini menunjukkan setelah optimasi hasil menjadi lebih bagus tetapi frekuensi yang didapatkan masih melebihi dari parameter yang diinginkan sebesar  $5,6$  kHz. Untuk mendapat hasil yang diinginkan, maka dilakukan optimasi selanjutnya dengan merubah kapasitor  $C_2$  sebesar seperempat kalinya dan mengubah induktor  $L_2$  empat kalinya. Dan didapatkan hasil sebagai berikut

$$C_1 = 3,666 \text{ pF} \quad L_1 = 468,103 \text{ nH}$$

$$C_2 = 0,92158 \text{ pF} \quad L_2 = 1788,103 \text{ nH}$$

$$C_3 = 373,9752 \text{ pF} \quad L_3 = 0,004477 \text{ nH}$$

Dari nilai komponen yang sudah dioptimasi tersebut didapatkan hasil simulasi S-Parameter sebagai berikut:



Gambar 11. Kurva Bandpass Filter setelah Optimasi Kedua

Pada gambar terlihat di titik marker m1, *insertion loss*  $S_{21}$  mencapai  $-0,000273$  dB dan *return loss* di marker m3 dengan nilai sebesar  $-42,023651$  dB pada frekuensi tengah  $123,0000$  MHz. Untuk menghitung bandwidth digunakan kurva  $S_{11}$  di  $-10$  dB, didapat titik marker m1 yaitu pada frekuensi  $122,9977$  MHz, sedangkan titik marker m2 pada frekuensi  $123,0024$  MHz. Dari kedua nilai tersebut *bandwidth* dari bandpass filter bisa diketahui yaitu :

$$\Delta f = f_{USB} - f_{LSB}$$

$$\Delta f = 123,0024 \text{ MHz} - 122,9977 \text{ MHz}$$

$$\Delta f = 0,0047 = 4,7 \text{ kHz}$$

Bandwidth yang didapatkan sama dengan frekuensi tengah memenuhi parameter yang diinginkan.

#### IV. KESIMPULAN

Dengan menggunakan filter orde 3 dengan kapasitansi kecil dapat menghasilkan Bandwidth yang sempit

Rangkaian Bandpass filter yang dirancang adalah filter pasif dengan komponen yang digunakan induktor dan kapasitor

Filter ini termasuk Filter Narrow Band dengan Bandwidth yang dihasilkan adalah  $4,7$  kHz. Setelah dilakukan simulasi didapatkan hasil bahwa rangkaian yang dirancang dapat memenuhi parameter-parameter perancangan yaitu dicapai dengan nilai *insertion loss* mendekati  $0$  dan *return loss* lebih dari  $-10,00$  dB.

#### REFERENCES

- [1]. ICAO, Annex 10, Aeronautical Telecommunication, Volume V "Aeronautical Radio Frequency Spectrum Utilization", 2001
- [2]. Cotter W. Sayre "Complete Wireless Design", 2008
- [3]. Hidayanto Jamal "Sistem Komunikasi I" Modul 12
- [4]. Desy Kristyawati ; Dyah Nur'ainingsih "Analisa Dan Simulasi Bandpass Filter Chebyshev Untuk Fetal Doppler Menggunakan Tools Mentor Graphics"
- [5]. Daniel Simanjuntak1; Gunawan Wibisono2; Taufiq Alif Kurniawan 3; Teguh Firmansyah4 "Quadband Bandpass filter dengan komponen lumped"

- [5] J. Millman, C. C. Halkias, "Integrated electronics", 1972, McGraw-Hill.
- [6] R. Ludwig, P. Bretchko, "RF circuit design - theory and applications", 2000 Prentice-Hall.
- [7] B. Razavi, "RF microelectronics", 1998 Prentice-Hall, TK6560.
- [8] J. R. Smith,"Modern communication circuits",1998 McGraw-Hill.
- [9] P. H. Young, "Electronics communication techniques", 5<sup>th</sup> edition, 2004 Prentice-Hall.
- [10] Gilmore R., Besser L.,"Practical RF circuit design for modern wireless systems", Vol. 1 & 2, 2003, Artech House.
- [11] Ogata K., "Modern control engineering", 4<sup>th</sup> edition, 2005, Prentice-Hall.

# Triple Band Frequency Using Slit Technique Rectangular Microstrip Antenna For Wimax Application

Syah Alam

Department of Electrical Engineering  
Faculty of Technic 17 Agustus 1945 University  
Jl. Sunter Podomoro , North Jakarta  
Email : alam\_bizkit@yahoo.com

**Abstract** - In recent years, the development of the telecommunications world has grown substantially. This causes the need for multifunction devices and can work in certain conditions. In this paper, presented research on microstrip antenna with 3 frequencies for WiMAX communication needs. In this paper, which used the patch is rectangular shape that will be given some slit to generate a double frequency. Microstrip antenna is designed to work at frequencies 2300, 3300 and 5800 MHz in accordance with the frequency for Wimax applications. From the simulation results obtained value of -12.07 dB return loss and VSWR 1,664 at the first frequency 2300 MHz, then the obtained value of -18.51 dB return loss and VSWR 1.273 at the second frequency 3300 MHz, and the last obtained value of return loss - 28, 04 dB and VSWR 1.083 at a frequency of 5800 MHz. Gain on microstrip antenna is 5.78 dB or 7.93 dBi, the antenna radiation pattern is a linear fit with a rectangular shape. From these results it can be concluded that the design of microstrip antennas can work well at three different frequencies of 2300, 3300 and 5800 MHz.

**Keywords** : microstrip, triple frequency, feed line

## I. INTRODUCTION

Microstrip antenna possesses many advantages such as low profile, light weight, small volume and compatibility with microwave integrated circuit (MIC) and monolithic microwave integrated circuit (MMIC). However, the narrow bandwidth is the major obstacle in wide applications for the microstrip antenna. In general, the impedance bandwidth of the traditional microstrip antenna is only a few percent (2% - 5%) [1]. Therefore, it becomes very important to develop broadband technique to increase the bandwidth of the microstrip antenna. Microstrip patch antenna consists of a dielectric substrate, with a ground plane on the other side. Due to its advantages such as low weight, low profile planar configuration, low fabrication costs and capability to integrate with microwave integrated circuits technology, the microstrip patch antenna is very well suited for applications such as wireless communications system, cellular phones, pagers, radar systems, and satellite communications systems [1,2]. In some applications which the antenna must work in the different operating frequency, triple frequency patch

antenna is one of the alternative solutions [3]. When modern communication system, such as satellite, radar and wimax requires operation at three frequencies, triple frequency patch antennas may avoid the use of three different antennas. Recently, the most popular technique for obtaining triple frequency is by introducing a reactive loading to a single patch [4][5][6]. The broadband characteristic of a microstrip patch antenna with a U-shaped slot has been confirmed by many published results and several design of broadband slots antenna has been reported [7]. A multi U-slot Patch antenna has been reported recently for 5 GHz WLAN [8], and also a monopole antenna for WiMAX applications was proposed in [9]. In this paper we use slit loading to generate triple frequency in the microstrip antenna.

## II. ANTENNA DESIGN

The geometry of a single patch antenna using two slots with different height for dual frequency operation feed by microstrip feed line can be shown in Figure 1a and 1b. The patch antenna is constructed on two layers with the same dielectric substrate. On the first layer, the patch antenna is realized on FR 4 substrate and having a relative permittivity ( $\epsilon_r$ ) = 4.3, substrate of thickness ( $h$ ) = 1.6 mm and loss tangent ( $\tan \delta$ ) = 0.0265 and the microstrip feed line is realized on the second layer.

Figure 1a,  $W$  and  $L$  is the dimension of the length and with of the rectangular patch antenna and given by

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (1)$$

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_{10} \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{1 + 12h/W}} \right) \quad (3)$$



$Y1$  is the distance between the feed line and the first slit,  $Y2$  is the distance between the first slit with second slit,  $Y3$  is the distance between the second slit with third slit, and  $Y4$  is the distance between the last slit with the edge of the antenna. Beside that,  $X1$  and  $A1$  are the length and width of the first slot,  $X2$  and  $A2$  are the length and the width of the second slot,  $X3$  and  $A3$  are the length and the width of the third slot. Table 1a shown the parameters of a single patch antenna.

Figure 1b,  $L1$  and  $Z1$  are the length and width of the feeding system,  $L2$  is the distance from the left side of the rectangular patch antenna to microstrip feed line and  $L3$  is the distance between the bottom patch antenna to feed line Table 1b shown the parameters of microstrip feed line.

Table 1b Parameters of microstrip patch

Parameter	W	L	A1 A2 A3	X1	X2	X3	Y1	Y2 Y3	Y4
Length (mm)	40	30,1	1	11	7,4	4,5	2,8	5	3

Table 1b Parameters of microstrip feed line

Parameter	Z1	L1	L2	L3
Length (mm)	3,1	30	19,1	2

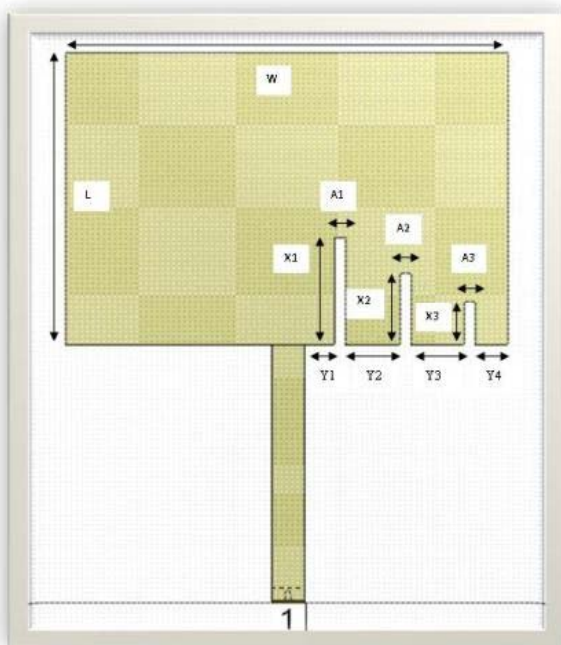
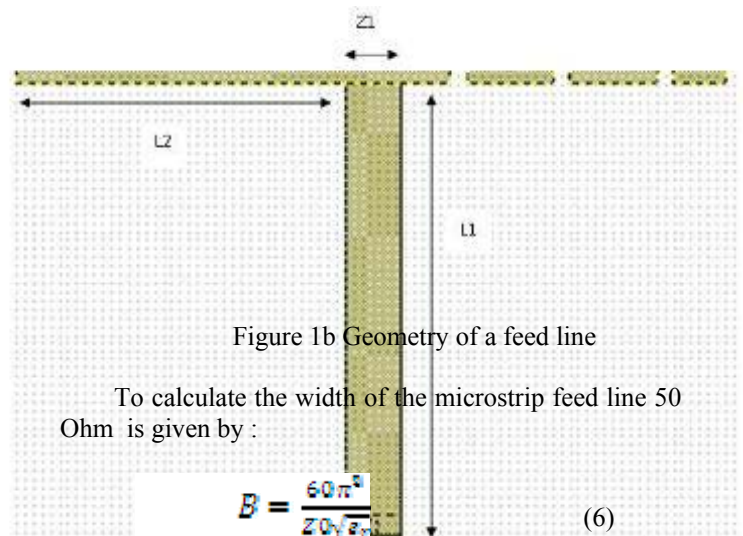


Figure 1a Geometry of a single patch antenna



To calculate the width of the microstrip feed line 50 Ohm is given by :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad (6)$$

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (7)$$

From (6) and (7), the width of the transmission feed line for the proposed antenna is as **3,1 mm** respectively for **50 Ohm**. In figure 2 microstrip antenna design can be viewed in 3-dimensional

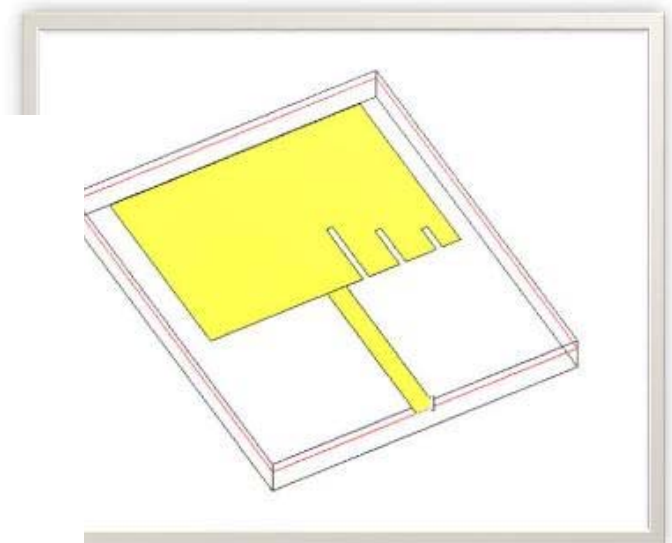


Figure 2 Patch Microstrip antenna in 3-dimensional

### III. EXPERIMENTAL RESULTS

The results of the first condition of the proposed antenna is as follow, return loss of -10.82 dB with VSWR 1.808 at frequency 2.3 GHz and return loss of -15.16 dB with VSWR 1.423 at frequency 3.3. GHz. The results shows that return loss and VSWR did not indicate the maximum value. To achieve the maximum results, the distance between the two patch adjusted and the length of the microstrip feed line 50 Ohm need to be controlled.

Table 2 shows the comperation results after controlling the length of the microstrip feed line 50 Ohm and Figure 4 shows the return loss value.

Table 2 Iteration of the length of the microstrip feed line

Length of the microstrip feed line 50 Ohm	Frequency 2.3 GHz		Frequency 3.3 GHz		Frequency 5,8 GHz)	
	Return Loss	VSWR	Return Loss	VSWR	Return Loss	VSWR
22 mm	-11,98 dB	1,711	-16,51dB	1,351	-21,39 dB	1,186
26 mm	-11,96 dB	1,671	-18,26 dB	1,280	-26,41 dB	1,101
30 mm	-12,03 dB	1,666	-20,07 dB	1,224	-30,38 dB	1,062

line length of 30 mm, then the length of feed line that we use is 30 mm

The radiation pattern of the proposed antenna is seen in Figure 5 and it is observed that the radiation pattern is broadside.

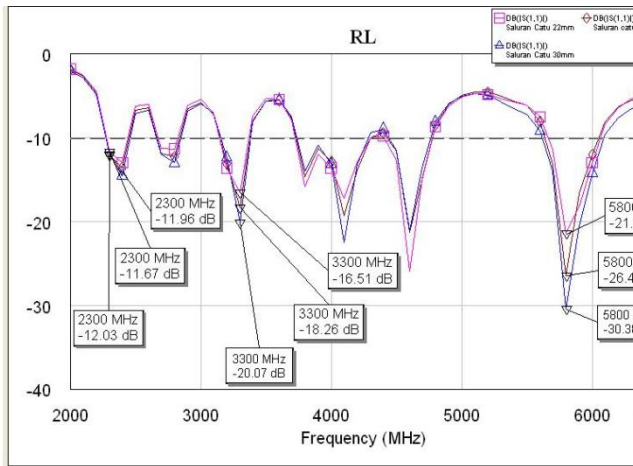


Figure 4a Return loss after adjusting the length of the microstrip feed line

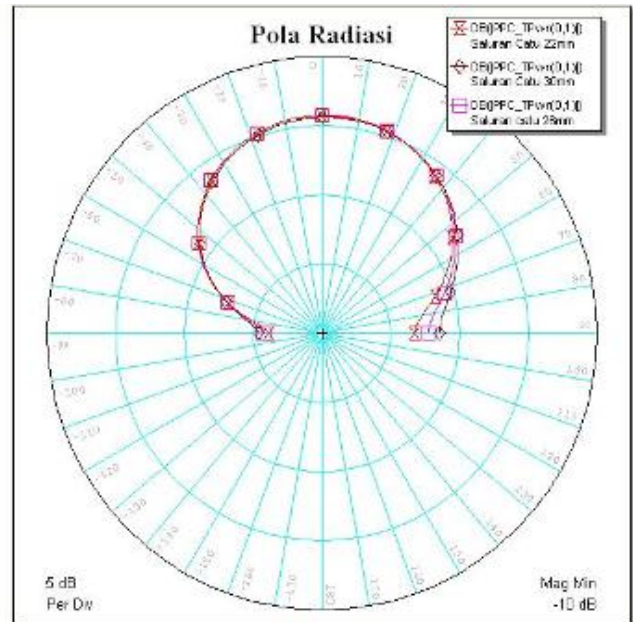


Figure 6 Radiation pattern of the proposed antenna

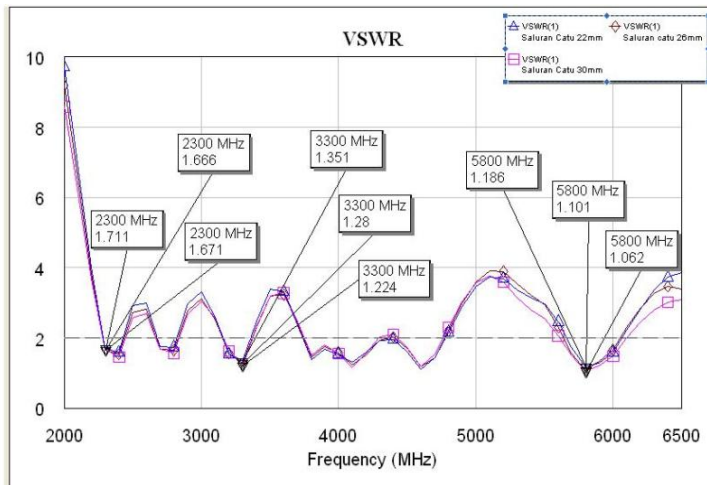


Figure 4a VSWR after adjusting the length of the microstrip feed line

The resulting bandwidth is good enough in the design of antennas at each operating frequency. In Table 5 we can see the antenna bandwidth specification work on three frequencies. Graph bandwidth simulation can be seen in Figure 5

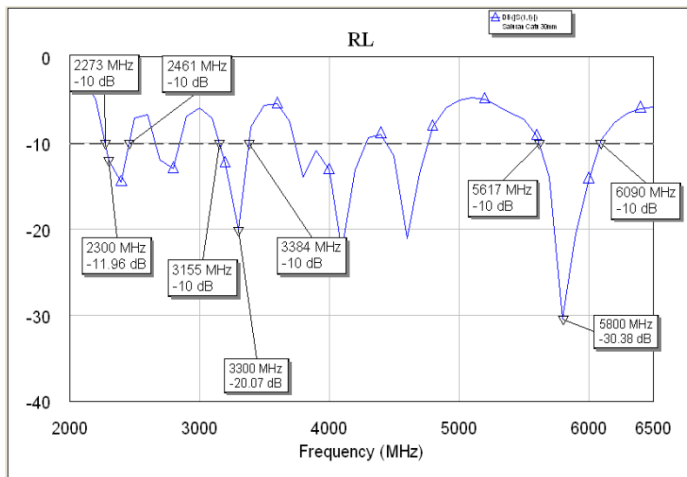
Table 2 Iteration of the length of the microstrip feed line

Parameter	Simulation Result		
	2.3 GHz	3.3 GHz	5,8 GHz
Center Frequency	2.3 GHz	3.3 GHz	5,8 GHz
Return Loss	-12,03 dB	-20,07 dB	-30,38 dB
VSWR	1,666	1,224	1,062
Bandwidth	188 MHz	229 MHz	473 MHz

From the picture above we can see that the length of feed line is very influential on the antenna return loss and VSWR. The longer the feed line, the better the value of Return Loss and VSWR of the antenna. If we extend the feed line then we will obtain the value of Return Loss and VSWR of better. The simulation results in the figure above shows that microstrip antennas can work well on the three frequencies of 2300 MHz, 3300 MHz and 5800 MHz.

From the simulation results can be seen that the best parameter values contained in the position of feed

From Table 5 we can see changes in return loss and VSWR at each operating frequency. In the 2300 MHz frequency bandwidth generated is 188 MHz, 3300 MHz on the frequency increased to 229 MHz and at a frequency of 5800 rose again to 473 MHz



From Figure 5 we can see changes in the value of VSWR and Return Loss are clear. These results were obtained using the simulation software on the AWR Microwave Office.

#### IV. CONCLUSION

A novel configuration to generating multiple frequency for WiMAX application has been experimentally studied. It is shown that the three frequencies can be easily controlled by provide three slit on the radiation element and varying the length of the microstrip feed line 50 Ohm. From these results, obtained value of Return Loss, VSWR and bandwidth are good for three working frequency. In the 2300 MHz values obtained Return Loss -12.03 dB, VSWR 1.667 and 188 MHz bandwidth. In the 3300 MHz values obtained Return Loss -20.07 dB, VSWR 1.224 and 229 MHz bandwidth. In the 3300 MHz values obtained Return Loss -30.38 dB, VSWR 1.062 and 473 MHz bandwidth. Therefore the proposed antenna is applicable as a new candidate for triple frequency antenna to enlarge the bandwidth for WiMAX application.

#### REFERENCES

- [1] W.L. Stutzman and G.A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd ed. New York: Wiley, 1998, SNA
- [2] C.A. Balanis, *Antenna Theory*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [3] Mallikarjun, S.L et al, "Development of Microstrip Array Antenna For Wide Band and Multi Band Application", *Indian Journal of Radio and Space Physics*, Vol.38, October 2009
- [4] Surjati, Indra, "Dual Frequency Operation Triangular Microstrip Antenna Using A Pair Of Slit", *11<sup>th</sup> Asia Pacific Conference on Communications*, Perth, Western Australia, October 2005
- [5] Anguera, J, et al, "Dual Frequency Broadband Microstrip Antenna With A Reactive Loading And Stacked Elements", *Progress In Electromagnetics Research Letters*, Vol.10, 1 – 10, 2009
- [6] Surjati, I et al, "Dual Band Triangular Microstrip Antenna Using Slot Feed By

- [7] K. F. Tong, K.M. Luk, K.F. Lee, and S.M. Shum, "Analysis of a broadband U-slot microstrip antenna," *10th international conference on Antenna and propagation*, pp 14-17, April 1997, conference publication no.436, IEEE 1997.
- [8] Jeong-Min JU, Gyey-Teak JEONG, Joong-Han YOON, Cheol-Soon KIM, Hyung-Sup KIM, and Kyung-Sup KWAK, "Design of Multiple U-Shaped Slot Microstrip Patch Antenna in 5 GHz Band WLAN," *IEICE Trans B: Communications* E88-B: 821-825.
- [9] T. liu and L. L. Wong, "A wideband Stubby Monopole Antenna and a GPS for WiMAX Mobile Phone with E911 Function," *Microwave and Optical Technology Letter*, Vol 46, 2005, pp. 485-487.

# PERANCANGAN DAN UNJUK KERJA ANTENA MIKROSTRIP *PATCH* SEGITIGADUAL BAND UNTUK APLIKASI WI-FI & LTE

Herudin<sup>1)</sup>, Azza Aghniya<sup>2)</sup>,

<sup>1,2)</sup> Departemen Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Cilegon-Indonesia 42412

e-mail : [h3ru311@yahoo.co.id](mailto:h3ru311@yahoo.co.id)

e-mail : [azzaaghniya@gmail.com](mailto:azzaaghniya@gmail.com)

**Abstrak**—Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat khususnya dibidang telekomunikasi. Wifi merupakan teknologi yang sangat populer saat ini. Wifi merupakan singkatan dari *Wireless Fidelity*, yaitu sekumpulan standar yang digunakan untuk jaringan lokal nirkabel (*Wireless Local Area Networks*) perkembangan dari Wifi sudah berkembang menjadi tahap *3GPP (Long Term Evolution)* atau yang biasa disingkat *LTE, Long Term Evolution* adalah sebuah nama yang diberikan pada sebuah projek dan *Third Generation Partnership Project (3GPP)* untuk memperbaiki standar *mobile phone* generasi ke-3 (3G). Di Indonesia standar ini didasari pada spesifikasi IEEE 802.11 untuk wifi dan untuk LTE di Indonesia masih dalam tahap perkembangan. Fungsinya untuk menghubungkan jaringan dalam satu area lokal secara nirkabel. Salah satu perangkat pendukung *wireless communication* dan LTE adalah antena. Pemilihan antena yang tepat, perancangan yang baik dan pemasangan yang benar akan menjamin kinerja sistem telekomunikasi tersebut. Antena mikrostrip memiliki kelebihan yaitu bentuk *low profil*, yang mudah dan murah untuk diproduksi secara massal namun memiliki *gain* dan *bandwidth* yang kecil. Pada penelitian ini dirancang bangun antena mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang bekerja untuk digunakan pada aplikasi LTE yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz dan *Wireless Fidelity (WiFi)* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dengan bahan FR4 (*epoxy*). Hasil pengukuran tiga antena mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang telah dibuat hasil untuk frekuensi (2,4 GHz) memiliki lebar pita frekuensi 70 MHz (A), 116 MHz (B), 72 MHz (C) dengan nilai VSWR minimum 1,262 (A), 1,222 (B), 1,242 (C) serta nilai *return loss* minimum -18,93 dB (A), -20,33 dB (B), -19,02 (C). hasil untuk frekuensi (2,6 GHz) memiliki lebar pita frekuensi 85 MHz (A), 112 MHz (B), 85 MHz (C) dengan nilai VSWR minimum 1,183 (A), 1,143 (B), 1,226 (C) serta nilai *return loss* minimum -21,78 dB (A), -24,54 (B), -20,31 (C). hasil pengukuran ini menunjukkan antena mikrostrip antena mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang dibuat dapat direalisasikan dan dapat digunakan pada aplikasi *Wireless Fidelity* dan LTE

**Kata kunci** : Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi, *Dual Band*, Wifi, LTE, VSWR, *Return Loss*, *Bandwidth*.

## I. PENDAHULUAN

Antena adalah elemen penting yang ada pada setiap sistem telekomunikasi tanpa kabel (nirkabel/*wireless*)serta

Perkembangan dari Wifi sudah berkembang menjadi tahap *3GPP (Long Term Evolution)* atau yang biasa disingkat LTE. Masing - masing bergerak pada frekuensi 2,4 GHz untuk Wifi dan 2,6 GHz Untuk LTE.,tidak ada sistem telekomunikasi nirkabel yang tidak memiliki antena. Pemilihan antena yang tepat, perancangan yang baik dan pemasangan yang benar akan menjamin kinerja (performansi) sistem telekomunikasi tersebut.

Antena yang akan dibahas disini adalah antena mikrostrip. Perkembangan dari teknologi antena mikrostrip terkait secara erat dengan perkembangan teknologi struktur pemandu gelombang mikrostrip (*microstrip lines*), pemandu gelombang mikrostrip secara sederhana bisa disejajarkan dengan rangkaian pada *Printed Circuit Board (PCB)*.Keuntungan pemandu gelombang mikrostrip dibandingkan dengan *waveguide* adalah bentuknya yang *low profil*, yang mudah dan murah untuk diproduksi secara massal.

Pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah antena mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang diharapkan akan menciptakan kualitas yang baik sehingga dapat diaplikasikan pada dapat bekerja pada dua jalur frekuensi sekaligus (antena *dualband* ) yaitu 2,4 GHz dan 2,6 GHz.

Berdasarkan uraian tersebut,maka pada penelitian ini perumusan masalah yang perlu diperhatikan yaitu bagaimana merancang mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang bekerja untuk digunakan untuk aplikasi LTE yang bekerja pada frekuensi 2,6 GHz dan *Wireless Fidelity (WiFi)* yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Adapun tujuan dalam penelitian adalah untuk merancang antena mikrostrip *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang dapat digunakan untuk teknologi (Wifi) *wireless fidelity* 802.11b dan (LTE) *Long Term Evolution*.

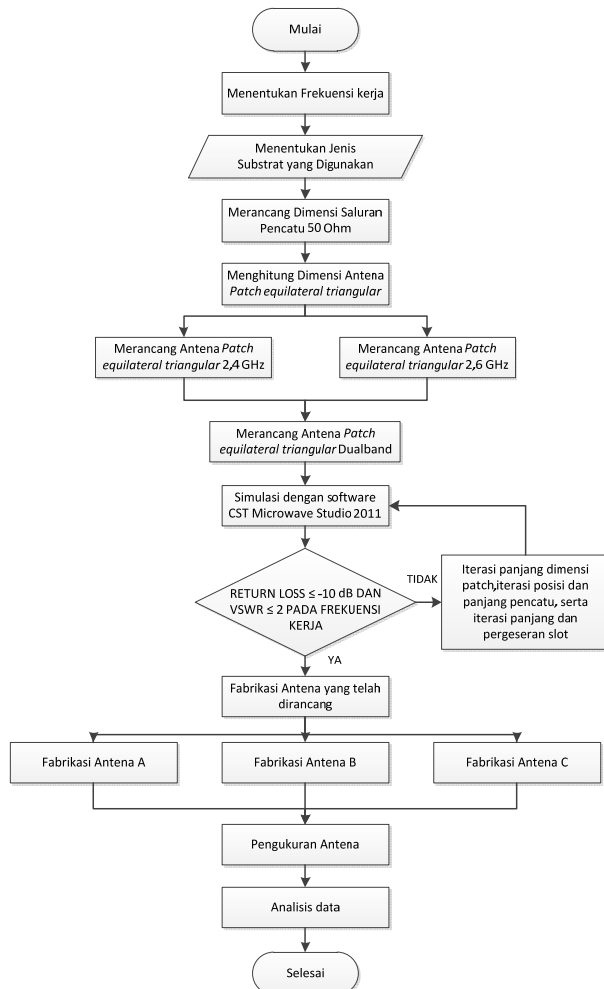
Manfaat pada penelitian ini adalah dapat membuat variasi desain dan memfabrikasi antena mikrostrip. Luasnya ruang lingkup analisis pada fabrikasi antena mikrostrip *Patch Equilateral Triangular Dual Band* memerlukan pembatasan masalah yaitu pada penelitian ini frekuensi kerja yang digunakan 2,4 GHz dan 2,6 GHz, substrat yang digunakan adalah FR4 epoxy dengan permitivitas relatif 4,8 tebal substrat 1,6 mm dan loss tangensial 0,02, *software* yang digunakan dalam simulasi perancangan adalah *software* CST Microwave Studio 2011 dan hasil fabrikasi yang akan

diuji adalah karakteristik VSWR, *return loss*, *bandwidth* dan frekuensi kerjanya dengan alat ukur Network analyzer.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Umum

Adapun diagram alir kerjanya seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### B. Proses Perancangan Antena

Proses perancangan antenna mikrostrip dengan *Patch equilateral triangular* (segitiga sama sisi) *dual band* ini dimulai dari menentukan karakteristik antenna yang ingin dibuat, jenis substrat yang akan digunakan, perancangan dimensi, pengujian pada software simulasi sampai proses fabrikasi.

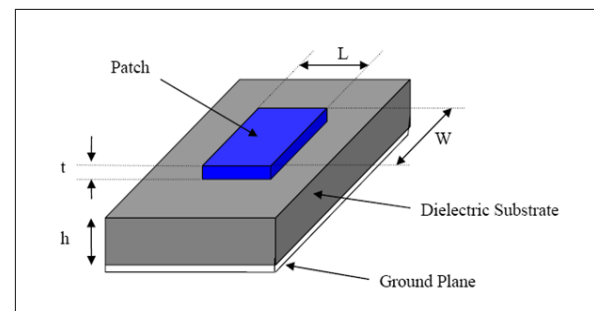
Pada rancangan antenna ini, diinginkan antenna yang mampu bekerja pada dua frekuensi, yaitu pada frekuensi 2,4 GHz dan 2.6 GHz. Hal ini berarti, frekuensi resonansinya adalah 2,4 GHz dan 2.6 GHz dengan frekuensi tengah 2,4 GHz dan 2.6 GHz. Frekuensi tengah resonansi ini, selanjutnya akan menjadi nilai parameter frekuensi dalam menentukan parameter-parameter lainnya seperti panjang gelombang, panjang sisi *Patch* antenna, serta panjang dan lebar saluran pencatu. Pada rentang frekuensi kerja tersebut (2,4 GHz dan 2.6 GHz), diharapkan antenna memiliki parameter  $VSWR \leq 2$  dan  $Return\ loss \leq -10\text{ dB}$ .

Perkembangan dari teknologi antenna mikrostrip diawali dengan perkembangan teknologi struktur pemandu

gelombang mikrostrip (*Microstrip Lines*). Pemandu gelombang mikrostrip secara sederhana bisa kita sejajarkan dengan rangkaian pada *Printed Circuit Board* (PCB) yang biasa kita temukan pada elektronika berfrekuensi rendah, yaitu berupa plat yang terletak di atas suatu substrat yang terbuat dari material dielektrika. Lajur-lajur pipih ini dihasilkan dengan proses *etching*. Keuntungan pemandu gelombang mikrostrip dibandingkan dengan *waveguide* biasa adalah bentuknya yang mudah dan murah untuk diproduksi secara masal.

Antena mikrostrip tersusun atas 3 elemen yaitu:

1. Elemen peradiasi ( *radiator*),
2. Elemen substrat (*substrate*), dan
3. Elemen pentanahan (*ground*), seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



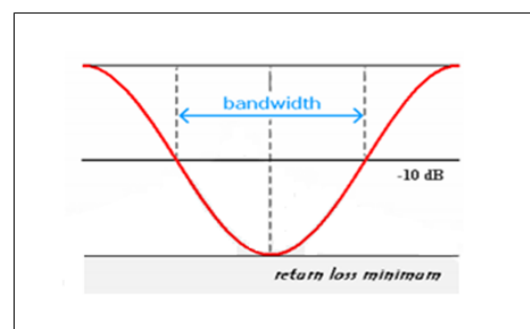
Gambar 2. Susunan Elemen Antena Mikrostrip[2]

### C. Parameter Umum Antena Mikrostrip

Unjuk kerja (*performance*) dari suatu antenna mikrostrip dapat diamati dari parameternya. Beberapa parameter utama dari sebuah antenna mikrostrip akan dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Bandwidth

*Bandwidth* (Gambar 3) suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi di mana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, VSWR, *return loss*) memenuhi spesifikasi standar [2].



Gambar 3. Rentang Frekuensi Yang Menjadi Bandwidth[2]

*Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan  $f_2$  = frekuensi tertinggi

$f_l$  = frekuensi terendah

$f_c$  = frekuensi tengah

## 2. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara *amplitudo* gelombang berdiri (standing wave) maksimum ( $|V|_{\max}$ ) dengan minimum ( $|V|_{\min}$ ). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan ( $V_0^+$ ) dan tegangan yang direfleksikan ( $V_0^-$ ). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) [2].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (2)$$

Dimana  $Z_L$  adalah impedansi beban (load) dan  $Z_0$  adalah impedansi saluran *lossless*. Koefisien refleksi tegangan ( $\Gamma$ ) memiliki nilai kompleks.

Sedangkan rumus untuk mencari nilai VSWR adalah [2]:

$$S = \frac{|\tilde{V}|_{\max}}{|\tilde{V}|_{\min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (3)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ( $S=1$ ) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah  $VSWR \leq 2$ .

## 3. Return loss

*Return loss* adalah perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return Loss* digambarkan sebagai peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ( $V_0^-$ ) dibanding dengan gelombang yang dikirim ( $V_0^+$ ). *Return Loss* dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena). Pada rangkaian gelombang mikro yang memiliki diskontinuitas (*mismatched*), besarnya *return loss* bervariasi tergantung pada frekuensi [2].

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (4)$$

$$\text{Return loss} = 20 \log_{10} |\Gamma| \quad (5)$$

Dengan menggunakan nilai  $VSWR \leq 2$  maka diperoleh nilai *return loss* yang dibutuhkan adalah di bawah -9,54 dB. Dengan nilai ini, dapat dikatakan bahwa nilai gelombang yang direfleksikan tidak terlalu besar dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan atau dengan kata lain, saluran transmisi sudah dapat dianggap *matching*. Nilai parameter ini dapat menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antenna sudah mampu bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

## 4. Pola Radiasi

Pola radiasi (*radiation pattern*) suatu antenna adalah pernyataan grafis yang menggambarkan sifat radiasi suatu antenna pada medan jauh sebagai fungsi arah. Pola radiasi

dapat disebut sebagai pola medan (*field pattern*) apabila yang digambarkan poynting vector.

Untuk menyatakan pola radiasi secara grafis, pola tersebut dapat digambarkan dalam bentuk absolut atau dalam bentuk relatif. Maksud bentuk relatif adalah bentuk pola yang sudah dinormalisasikan, yaitu setiap harga dari pola radiasi tersebut telah dibandingkan dengan harga maksimumnya.

## 5. Keterarahan (Directivity)

Keterarahan dari sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan (rasio) intensitas radiasi sebuah antenna pada arah tertentu dengan intensitas radiasi rata-rata pada semua arah [2]. Intensitas radiasi rata-rata sama dengan jumlah daya yang diradiasikan oleh antenna dibagi dengan  $4\pi$ . Jika arah tidak ditentukan, arah intensitas radiasi maksimum merupakan arah yang dimaksud. Keterarahan ini dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini [4]:

$$D = \frac{U}{U_0} = \frac{4\pi U}{P_{rad}} \quad (6)$$

## 6. Penguatan (Gain)

Ada dua jenis parameter penguatan (Gain) yaitu *absolute gain* dan *relatif gain* [2]. *Absolute gain* pada sebuah antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara *isotropic*. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara *isotropics* sama dengan daya yang diterima oleh antenna ( $P_{in}$ ) dibagi dengan  $4\pi$ . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan rumus [1]:

$$\text{gain} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (7)$$

## D. Substrat yang Digunakan

Jenis substrat yang digunakan adalah substrat FR4 (*epoxy*) karena memiliki ketebalan yang cukup kecil, bahan substrat yang mudah didapatkan dan memiliki nilai yang ekonomis bila dibandingkan dengan substrat *Taconic TLY-5* tetapi memiliki kerugian yaitu memiliki konstanta dielektrik yang cukup besar yang dapat berpengaruh pada penurunan kinerja antenna. Namun dengan semakin besarnya konstanta dielektrik, maka ukuran *Patch* dan saluran pencatu mikrostrip yang dibutuhkan akan semakin kecil, karena ukuran *Patch* dan saluran mikrostrip berbanding terbalik dengan konstanta dielektrik. Substrat FR4 (*epoxy*) memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut ini :

TABLE I  
SPESIFIKASI SUBSTRAT YANG DIGUNAKAN

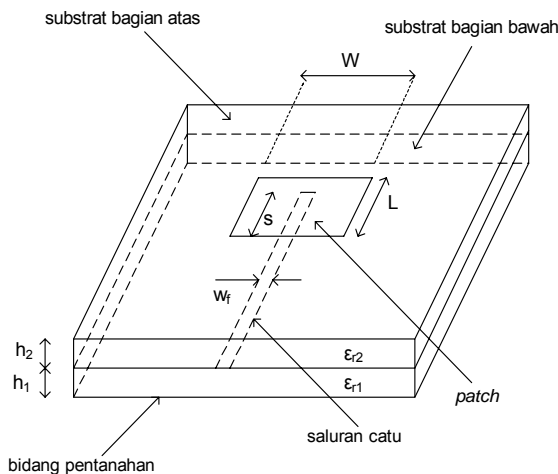
Jenis Substrat	FR4 ( <i>epoxy</i> )
Konstanta Dielektrik ( $\epsilon_r$ )	4.8
Konstanta Permeabilitas Relatif ( $\mu_r$ )	1
<i>Dielectric Loss Tangent</i> ( $\tan \delta$ )	0,025
Ketebalan Substrat (h)	1,6mm
Konduktifitas Bahan	$5,8 \times 10^7$ S/m

E. Teknik Pencatutan dan Metode Analisis Saluran Transmisi

Ada beberapa konfigurasi pencatutan yang dapat digunakan pada antenna mikrostrip. Namun ada tiga buah teknik pencatutan yang biasa digunakan, yaitu: *microstrip line*, *coaxial probe*, dan *proximity coupling*. Teknik pencatutan *microstrip line* (saluran mikrostrip) merupakan metode yang paling mudah digunakan karena menyatu dengan *patch* dengan ukuran lebar yang lebih kecil dibandingkan dengan *patch*. Akan tetapi teknik ini tidak dapat menghasilkan bandwidth yang lebar. Teknik pencatutan *coaxial probe feed* juga menghasilkan bandwidth yang sempit dan lebih susah untuk difabrikasi [11].

Teknik *proximity coupling* atau yang lebih dikenal dengan *electromagnetically coupled* adalah salah satu teknik yang dapat menghasilkan bandwidth yang cukup lebar. Konfigurasi dari teknik pencatutan jenis ini adalah dengan menggunakan dua lapisan substrat. Pada substrat lapisan atas terdapat *patch* peradiasi dari antenna, dan pada substrat lapisan ini tidak terdapat *ground*. Sedangkan pada substrat lapisan bawah terdapat *line* pencatutan. Pada lapisan substrat bawah ini terdapat *ground*. Kedua lapisan menggunakan substrat yang sama. Dengan menggunakan teknik pencatutan jenis ini maka elemen pencatutan dan *patch* peradiasi akan terkopling secara elektromagnetik

Dengan meletakkan *patch* peradiasi diatas dua lapisan substrat maka akan menyebabkan dihasilkan bandwidth yang lebar. Hal ini dikarenakan dengan menggunakan dua lapisan maka ketebalan substrat yang digunakan menjadi lebih tebal. Untuk *matching*-kan antenna, hal yang perlu dilakukan cukup dengan mengubah-ubah panjang dari elemen pencatutan atau dengan memberikan stub dan mengubah-ubah posisinya [6].



Gambar 4. Pencatutan *Electromagnetic Coupled*

Dengan  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik relatif dan :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_r}} \tag{1}$$

Lebar saluran pencatutan (*line width*) tergantung dari impedansi karakteristik ( $Z_0$ ) yang diinginkan. Adapun persamaan untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan 2 di bawah ini [1].

$$W_f = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[ \ln(B - 1) \right] \right\} \tag{8}$$

Dengan :

$W_f$  = Lebar pencatutan *Electromagnetic Coupled* (mm)

Untuk menentukan panjang pencatutan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{c}{f} \tag{9}$$

Dengan :

C = Cepat rambat cahaya

F = Frekuensi kerja

Persamaan (3) ini hanya sebagai persamaan panjang pencatutan tahap awal yang nantinya akan di iterasi panjangnya.

Untuk mendapatkan lebar dari saluran pencatutan yang menghasilkan nilai impedansi  $Z_0 = 50 \Omega$  dapat dihitung dengan Persamaan 1 dan Persamaan 2 maka didapatkan lebar saluran mikrostrip (W) sebagai berikut:

$$B = \frac{60\pi^2}{50\sqrt{4,8}}$$

$$B = 5,927$$

$$W = \frac{2 \times 0,006}{\pi} \left\{ 5,4058 - 1 - \ln(2 \times 5,4058 - 1) + \frac{4,8 - 1}{2 \times 4,8} \left[ \ln(5,4058 - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{4,8} \right] \right\}$$

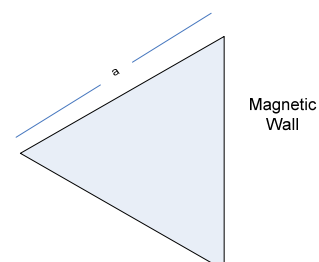
$$W = 2,792 \times 10^{-3} \text{ m} \approx 2,792 \text{ mm}$$

didapatkan nilai untuk menghasilkan nilai impedansi  $Z_0 = 50\Omega$  dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatutan sebesar 2,79mm.

F. Perancangan Patch Dimensi Antena

Bentuk ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan bentuk segi empat, yaitu luas yang dibutuhkan oleh bentuk segitiga untuk menghasilkan karakteristik radiasi yang sama lebih kecil dibandingkan luas yang dibutuhkan oleh bentuk segi empat [11]. Hal ini sangat menguntungkan di dalam fabrikasi antenna. Terlebih lagi penambahan *slot* pada *patch* bentuk segitiga membuat luas yang dibutuhkan akan semakin kecil.

Distribusi medan pada *patch* segitiga dapat dicari dengan menggunakan model *cavity*, di mana segitiga dikelilingi oleh medan magnetik di sekelilingnya



Gambar 5. Geometri Segitiga

Gambar di atas menggambarkan bahwa koordinat awal sistem terletak tepat pada titik tengah segitiga,  $A_{m,n,l}$  merupakan amplitudo yang ditentukan oleh eksitasi,  $a$  merupakan panjang sisi dari segitiga, dan  $m, n, l$  merupakan bilangan yang tidak nol dan memenuhi kondisi [11] :

$$m + n + l = 0 \tag{10}$$

Frekuensi resonansi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut [11]:

$$f_r = \frac{ck_{mn}}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{2c}{3a\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{m^2 + mn + n^2} \tag{11}$$

Di mana  $c$  merupakan cepat rambat gelombang cahaya. Persamaan di atas berlaku jika elemen peradiasi segitiga dikelilingi oleh dinding magnet yang sempurna. Jika elemen peradiasi dikelilingi oleh dinding magnet yang tidak sempurna, maka nilai  $a$  diganti dengan nilai  $a_e$  yang merupakan nilai efektif dari panjang sisi segitiga.

Untuk mode  $TM_{10}$  frekuensi resonansi ( $f$ ) didefinisikan sebagai berikut :

$$f_{10} = \frac{2c}{3a_e\sqrt{\epsilon_r}} \tag{12}$$

Dengan :

$$a_e = a \left[ 1 + 2.199 \frac{h}{a} - 12.853 \frac{h}{a\sqrt{\epsilon_r}} + 16.436 \frac{h}{a\epsilon_r} + 6.182 \left(\frac{h}{a}\right)^2 - 9.802 \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \tag{13}$$

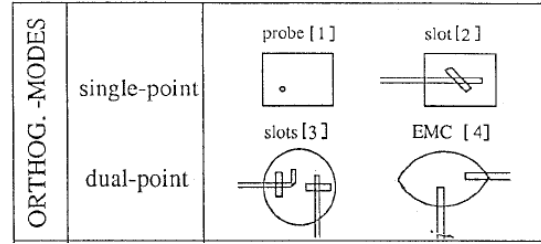
G. Teknik Untuk Menghasilkan Multi Frekuensi

Untuk mendapatkan antenna yang bekerja lebih dari satu frekuensi dapat dilakukan dengan berbagai macam cara. Mulai dari menyusun lebih dari satu patch antenna yang bekerja pada frekuensi berbeda sampai dengan cara menyusun secara bertingkat antenna yang mempunyai frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Secara umum ada tiga cara untuk menghasilkan antenna multifrekuensi. Cara-cara tersebut adalah [8] :

1. Orthogonal-mode multi-frequency antenna
2. Multi-patch multi-frequency antenna
3. Reactively-loaded multi-frequency antenna

1. Orthogonal-mode Multi-frequency Antenna

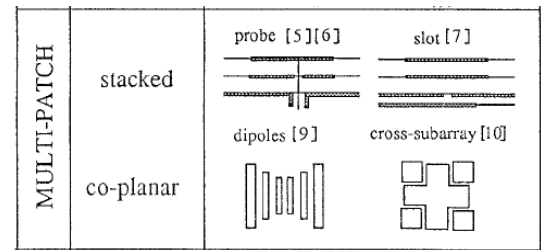
Pada teknik ini akan dihasilkan dua buah frekuensi yang mempunyai polarisasi orthogonal. Salah satu cara untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menempatkan pencatu pada satu buah patch sedemikian sehingga pada posisi tersebut mematchingkan dua buah frekuensi. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan teknik pencatuan probe dan dengan cara pencatuan line akan tetapi diberikan slot yang arahnya condong kearah pencatu. Cara lain untuk menghasilkan lebih dari satu frekuensi resonansi menggunakan teknik ini adalah dengan menggunakan pencatuan ganda [8]. Gambar teknik Orthogonal-mode dapat dilihat pada Gambar 6 berikut ini.



Gambar 6. Teknik Orthogonal Mode

2. Multi-patch Multi-frequency Antenna

Pada teknik ini untuk menghasilkan lebih dari satu buah frekuensi dilakukan menggunakan lebih dari satu buah patch. Cara yang dilakukan dapat dengan menyusun secara menumpuk setiap patch yang menghasilkan frekuensi resonansi yang berbeda-beda. Cara ini dinamakan cara multi-stacked multi-patch antenna. Cara lainnya adalah dengan cara menyusun patch antenna pada satu lapisan substrat. Masing-masing substrat tersebut dipisahkan dengan slot [8]. Gambar teknik multi-patch dapat dilihat pada Gambar 7. berikut ini.

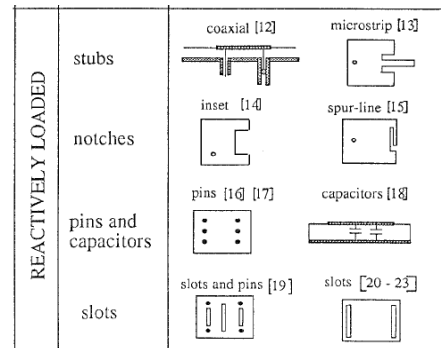


Gambar 7. Teknik Multi-Patch

3. Reactively-loaded Multi-frequency Antenna

Cara reactively-loaded ini adalah cara untuk menghasilkan multi frekuensi dengan menambahkan beban pada antenna. Beban yang dimaksud disini bisa berupa stub, slot, pin, slot dan pin, ataupun kapasitor.

Teknik ini adalah teknik yang paling populer digunakan untuk menghasilkan antenna yang dapat bekerja lebih dari satu frekuensi. Beban reaktif tersebut ditambahkan secara khusus pada tepi peradiasi (radiating edge) untuk menghasilkan panjang resonansi yang lebih jauh, dimana panjang resonansi ini berkaitan dengan pembangkitan frekuensi yang lainnya [8]. Gambar teknik multi-patch dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Teknik Reactively Loaded

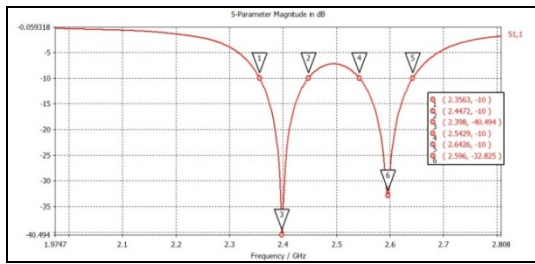
III. HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Simulasi Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Dualband

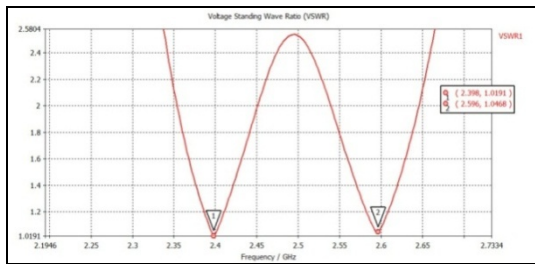
Dari Hasil simulasi antenna mikrostrip segitiga sama sisi dualband setelah di iterasi dengan menggunakan software



CST Microwave Studio 2011. Hasilnya dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 9. Grafik Return Loss Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz



Gambar 10. Grafik VSWR Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz

Dari gambar 9, dan Gambar 10, dapat diketahui besarnya bandwidth yaitu pada nilai  $VSWR < 2$  atau  $return\ loss < -10$  dB. Nilai  $VSWR < 2$  untuk frekuensi 2,4 GHz dimulai dari frekuensi 2356 MHz sampai 2447 MHz dan Nilai  $VSWR < 2$  untuk frekuensi 2,6 GHz dimulai dari frekuensi 2542 MHz sampai 2642 MHz. sehingga nilai bandwidth hasil simulasinya adalah:

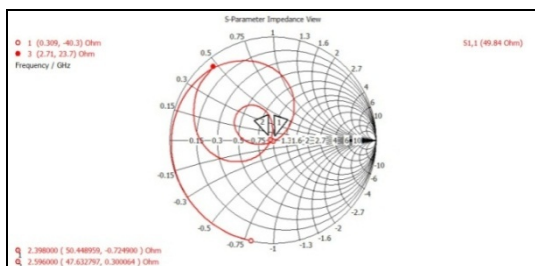
Dengan persamaan (4) untuk frekuensi kerja 2,4 GHz:

$$Bandwidth_{(VSWR < 2)} = \frac{2447 - 2356}{2398} \times 100\% = 3,795\% \text{ (91 MHz)}$$

Dengan persamaan (4) untuk frekuensi kerja 2,6 GHz:

$$Bandwidth_{(VSWR < 2)} = \frac{2642 - 2542}{2596} \times 100\% = 3,852\%$$

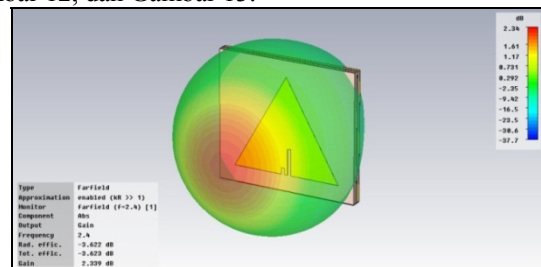
Impedansi pencatu yang dihasilkan dari simulasi antena mikrostrip Patch segitiga dual band yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz ini dapat terlihat pada Gambar 11.



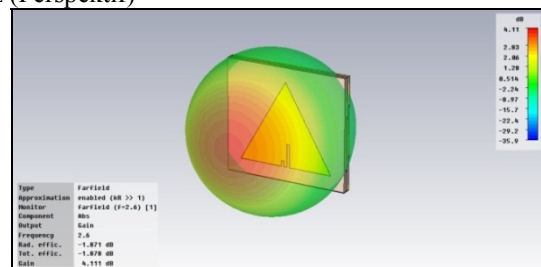
Gambar 11. Grafik Impedansi Pencatu Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz

Grafik impedansi masukan yang didapatkan pada antena mikrostrip Patch segitiga dual band yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz sebesar  $Z_0 = 49,84 \Omega$

Pola radiasi tiga dimensi yang dihasilkan dari simulasi antena mikrostrip Patch segitiga dual band yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz ini dapat terlihat pada Gambar 12, dan Gambar 13.

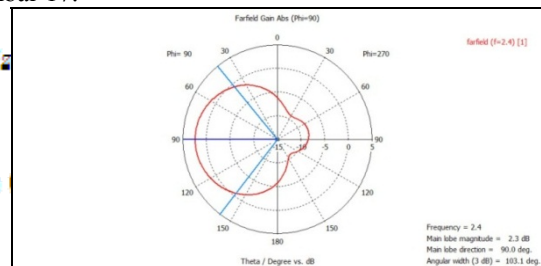


Gambar 12. Polaradiasi 3D Dan Gain Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz (Perspektif)

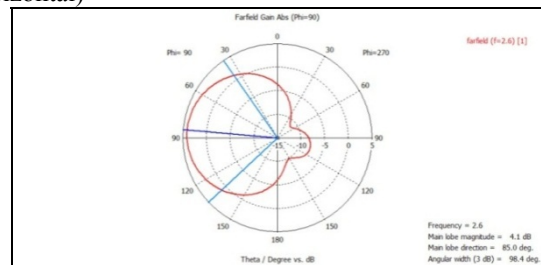


Gambar 13. Polaradiasi 3D Dan Gain Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,6 GHz (Perspektif)

Dari hasil simulasi yang ditunjukkan oleh Gambar 11, dan Gambar 12, bahwa pola radiasi antena berbentuk directional, yaitu memiliki intensitas pancaran utama radiasi ke satu arah. Gain yang dihasilkan adalah sebesar 2.3 dB untuk frekuensi 2,4 GHz dan 4,11 dB untuk frekuensi 2,6 GHz. Dan berikut ini tampilan pola radiasi dalam bentuk 2 dimensi yang ditunjukkan oleh Gambar 14, sampai dengan Gambar 17.



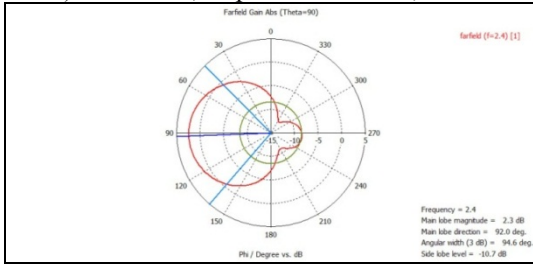
Gambar 14. Polaradiasi Dan Gain Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz (Horizontal)



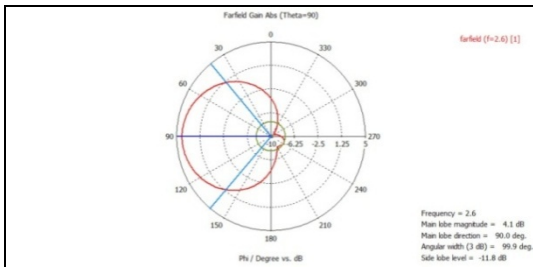
Gambar 15. Polaradiasi Dan Gain Antena Mikrostrip Patch Segitiga Dual Band Yang Bekerja Pada Frekuensi 2,6 GHz (Horizontal)

Berdasarkan Gambar 17, dan 18, dapat diketahui antena memiliki pola radiasi horizontal dengan nilai Half Power Beamwidth (-3dB beamwidth) sebesar 103°. pada

frekuensi 2,4 GHz. Dan nilai *Half Power Beamwidth* (-3dB beamwidth) sebesar 98,4° pada frekuensi 2,6 GHz.



Gambar 16. Polaradiasi Dan Gain Antena Mikrostrip Patch SegitigaDual BandYang Bekerja Pada Frekuensi 2,4 GHz (Vertikal).

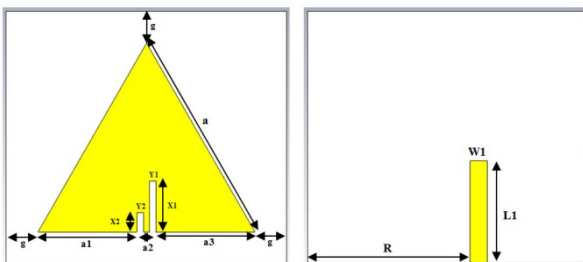


Gambar 17. Polaradiasi Dan Gain Antena Mikrostrip Patch SegitigaDual BandYang Bekerja Pada Frekuensi 2,6 GHz (Vertikal).

Berdasarkan Gambar 14, sampai 17, dapat diketahui antena memiliki pola radiasi horizontal dengan nilai *Half Power Beamwidth* (-3dB beamwidth) sebesar 94,6° pada frekuensi 2,4 GHz. Dan nilai *Half Power Beamwidth* (-3dB beamwidth) sebesar 99,9° pada frekuensi 2,6 GHz.

TABLE II  
PARAMETER HASIL SIMULASI ANTENA MIKROSTRIP PATCH SEGITIGADUAL BANDYANG BEKERJA PADA FREKUENSI 2,4 GHz DAN 2,6 GHz

Parameter Antena	Frekuensi kerja 2,4 GHz	Frekuensi kerja 2,6 GHz
Frekuensi Rasionansi	2,398 GHz	2,596 GHz
Return Loss	-40,494 dB	-32,825dB
Bandwidth	2,356 GHz – 2,447 GHz 3,795% (91 MHz)	2,542 GHz – 2,642 GHz 3,852% (100 MHz)
VSWR	1,0191	1,0468
Impedasi masukan	49,84 Ω	
Beamwidth	103° (Horizontal) 94,6° (Vertikal)	98,4° (Horizontal) 99,9° (Vertikal)
Gain	2,3 dB	4,11 dB



Gambar 18. Dimensi Antena.

TABLE III  
NILAI PARAMETER YANG DIGUNAKAN PADA ANTENA YANG DIRANCANG

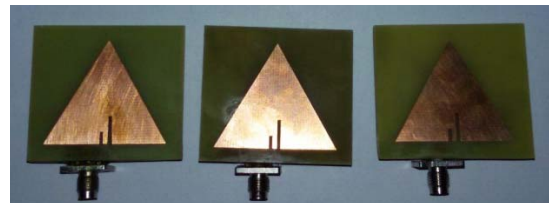
Paramet er	Sisi (mm)	Paramet er	Sisi (mm)	Paramet er	Sisi (mm)
A	34,4 mm	x1	8 mm	g	5 mm

a1	15,7 mm	x2	3 mm	R	25,8 mm
a2	1 mm	y1	1 mm	W1	27,9 mm
a3	15,7 mm	y2	1 mm	L1	16 mm

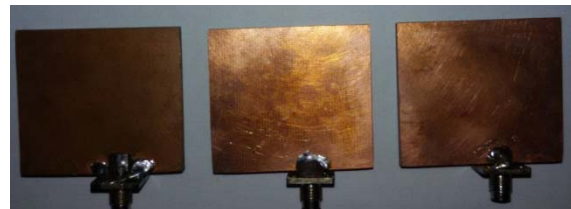


Gambar 19. Hasil Rancang Bangun Antena.

Dalam melakukan fabrikasi dibuat menjadi lebih dari satu antena, yaitu dibuat tiga antena yang masing-masing memiliki perbedaan fisik, yaitu dapat dilihat dari gambar berikut:



Gambar 20Hasil Rancang Bangun Antena A, B dan C (Tampak Depan)



Gambar 21Hasil Rancang Bangun Antena A, B dan C (Tampak Belakang)

Memiliki perbedaan yang dimaksud adalah teknik penyolderan, pembuatan antena di dua jasa fabrikasi yang berbeda, penambahan lebar patch antena sebesar 0,5 mm.

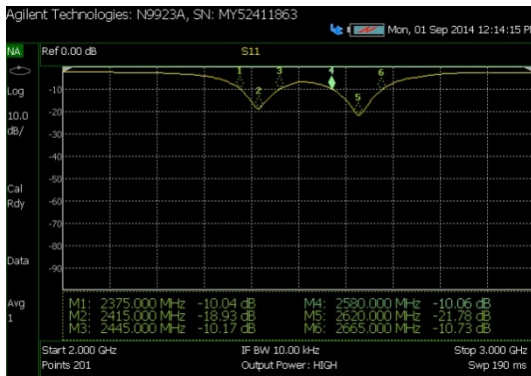
B. Hasil Pengukuran Antena Mikrostrip Segitiga Dual bandasil Simulasi Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Dualband.

Hasil Pengukuran Port Tunggal

Proses Pengukuran *return loss*, VSWR dan Bandwidth antena dilakukan di Laboratorium Pusat Teknologi Roket LAPAN (Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional). Pada proses pengukuran port tunggal ini, parameter-parameter dari antena yang dapat diukur adalah *return loss*, VSWR Frekuensi Rasionansi dan *Bandwidth*. Pengukuran yang dilakukan menggunakan *network analyzer* dengan format  $S_{1.1}$ . Gambar hasil pengukuran *return loss* dari antena yang dirancang pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 22. Pengukuran Port Tunggal Menggunakan Network Analyzer Agilent.



Gambar 23 Grafik Hasil Pengukuran Return Loss Antena(A)

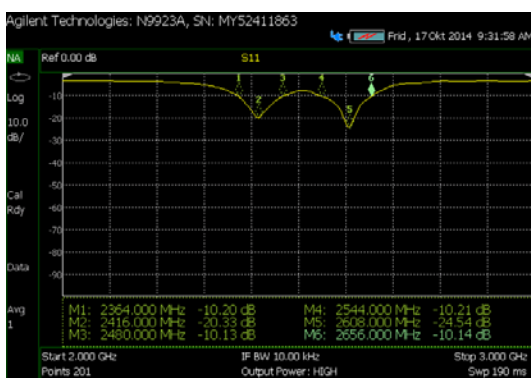
Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,4 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2445 - 2375}{2415} \times 100\% = 2,898\%$$

Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,6 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2665 - 2580}{2620} \times 100\% = 3,244\%$$

Bandwidth sebesar 2,898 % (70 MHz) untuk 2,415 GHz dan Bandwidth sebesar 3,244 % (85 MHz) untuk 2,620 GHz didapatkan dari hasil pengukuran antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz ini diketahui berbeda dengan hasil simulasi yang didapat dari software CST Microwave. Namun nilai return loss terbaik yang dihasilkan antara simulasi dengan hasil pengukuran hanya sedikit terjadi perbedaan. Berdasarkan hasil pengukuran yang terlihat pada Gambar 4.4, antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang dibuat dapat bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz dapat dikatakan antenna yang dirancang sudah dapat dianggap matching.



Gambar 24 Grafik Hasil Pengukuran Return Loss Antena(B)

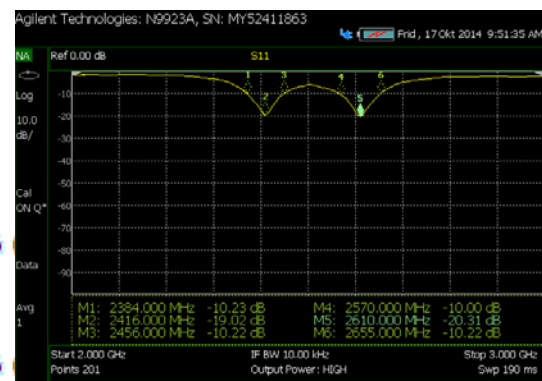
Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,4 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2480 - 2364}{2416} \times 100\% = 4,8\% (116)$$

Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,6 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2665 - 2544}{2608} \times 100\% = 4,29\% (112)$$

Bandwidth sebesar 4,8 % (116 MHz) untuk 2,416 GHz dan Bandwidth sebesar 4,29 % (112 MHz) untuk 2,608 GHz didapatkan dari hasil pengukuran antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz ini diketahui berbeda dengan hasil simulasi yang didapat dari software CST Microwave. Namun nilai return loss terbaik yang dihasilkan antara simulasi dengan hasil pengukuran hanya sedikit terjadi perbedaan. Berdasarkan hasil pengukuran yang terlihat pada Gambar 4.4, antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang dibuat dapat bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz dapat dikatakan antenna yang dirancang sudah dapat dianggap matching.



Gambar 25 Grafik Hasil Pengukuran Return Loss Antena(C)

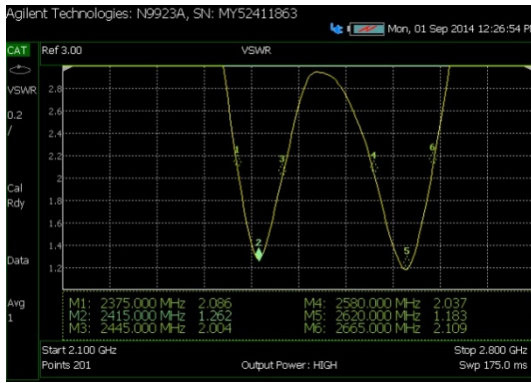
Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,4 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2456 - 2384}{2416} \times 100\% = 2,98\% (72)$$

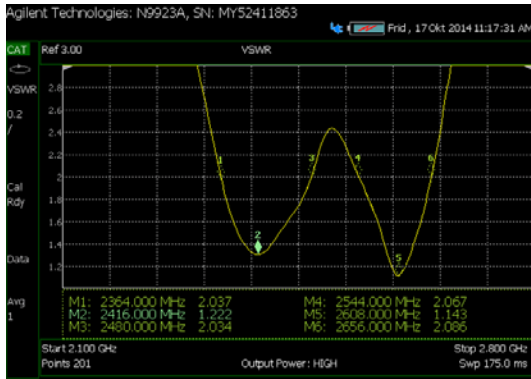
Dengan persamaan (1) untuk frekuensi kerja 2,6 GHz:

$$\text{Bandwidth}_{(VSWR=1.5)} = \frac{2655 - 2570}{2610} \times 100\% = 3,25\% (85)$$

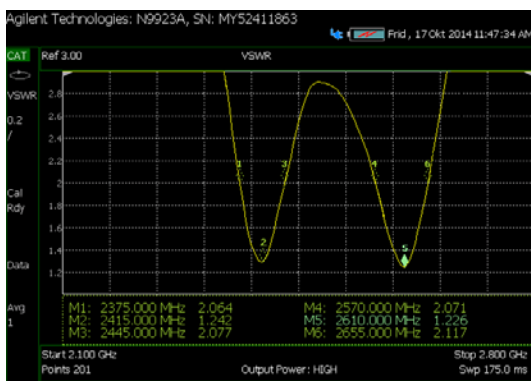
Bandwidth sebesar 2,98 % (72 MHz) untuk 2,416 GHz dan Bandwidth sebesar 3,25 % (85 MHz) untuk 2,610 GHz didapatkan dari hasil pengukuran antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz ini diketahui berbeda dengan hasil simulasi yang didapat dari software CST Microwave. Namun nilai return loss terbaik yang dihasilkan antara simulasi dengan hasil pengukuran hanya sedikit terjadi perbedaan. Berdasarkan hasil pengukuran yang terlihat pada Gambar 4.4, antenna mikrostrip Patchsegitigadual bandyang dibuat dapat bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz dapat dikatakan antenna yang dirancang sudah dapat dianggap matching. Dan nilai return loss yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan nilai VSWR seperti yang ditunjukkan dari hasil pengukuran VSWR yang terlihat pada Gambar 4.5.



Gambar 26 Grafik Hasil Pengukuran VSWR Antena (A)



Gambar 27 Grafik Hasil Pengukuran VSWR Antena (B)

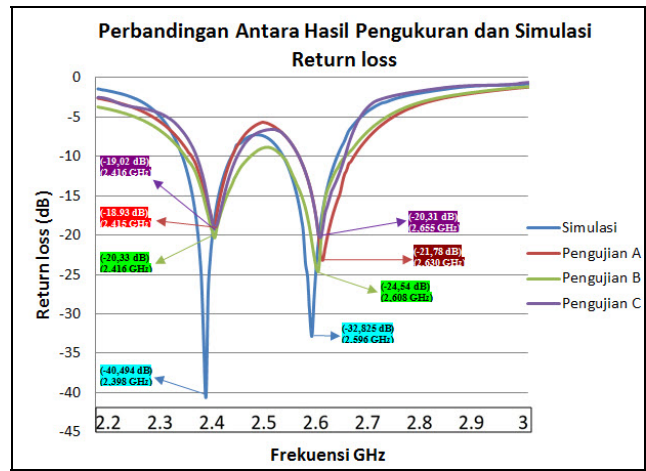


Gambar 28 Grafik Hasil Pengukuran VSWR Antena (C)

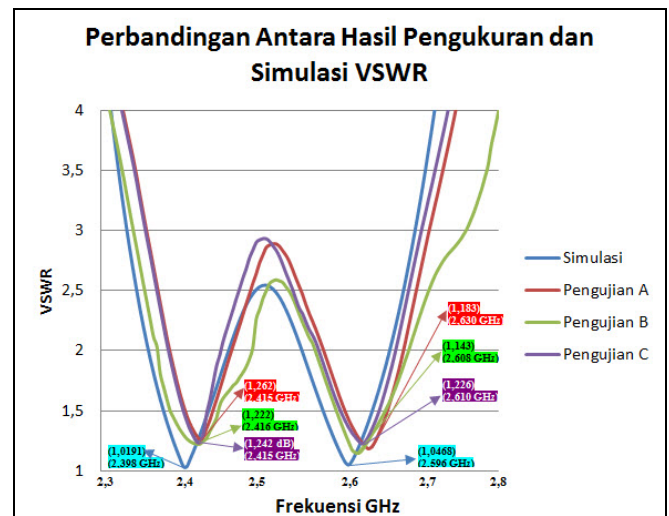
Dari Gambar 26 dan 28 diatas didapatkan nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,262 antena (A), 1,222 antena (B), 1,242 antena (C) dan pada frekuensi 2,6 GHz didapatkan nilai VSWR 1,183 antena (A), 1,143 antena (B), 1,226 antena (C).

C. Perbandingan Hasil Simulasi Dengan Pengukuran.

Dari hasil pengukuran port tunggal terdapat 4 parameter yang dapat dianalisis, yaitu parameter *return loss*, VSWR, Frekuensi Rasionansi dan *Bandwidth*. Perbandingan *return loss* antara hasil pengukuran dan simulasi dapat di lihat sebagai berikut:



Gambar 29 Perbandingan Parameter *Return Loss* Antara Hasil Pengukuran dan Simulasi



Gambar 30. Perbandingan Antara Hasil Pengukuran dan Simulasi VSWR

TABLE IV  
PERBANDINGAN SIMULASI DENGAN PENGUKURAN ANTENA(A)

Parameter Antena	Frekuensi kerja 2,4 GHz		Frekuensi kerja 2,6 GHz	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Rasionansi	2,398 GHz	2,415 GHz	2,596 GHz	2,620 GHz
<i>Return Loss</i>	-40,494 dB	-18,93 dB	-32,825 dB	-21,78 dB
<i>Bandwidth</i>	2,356 GHz – 2,447 GHz	2,375 GHz – 2,480 GHz	2,542 GHz – 2,642 GHz	2,580 GHz – 2,665 GHz
	3,795% (91 MHz)	2,898% (70 MHz)	3,852% (100 MHz)	3,244% (85 MHz)
VSWR	1,0191	1,262	1,0468	1,183

TABLEV  
PERBANDINGAN SIMULASI DENGAN PENGUKURAN ANTENA(B)

Parameter Antena	Frekuensi kerja 2,4 GHz		Frekuensi kerja 2,6 GHz	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Rasionansi	2,398 GHz	2,416 GHz	2,596 GHz	2,608 GHz
<i>Return Loss</i>	-40,494 dB	-20,33 dB	-32,825 dB	-24,54 dB
<i>Bandwidth</i>	2,356 GHz – 2,447 GHz	2,364 GHz – 2,480 GHz	2,542 GHz – 2,642 GHz	2,544 GHz – 2,656 GHz
	3,795% (91 MHz)	4,8% (116 MHz)	3,852% (100 MHz)	4,29% (112 MHz)
VSWR	1,0191	1,222	1,0468	1,143

TABLEVI  
PERBANDINGAN SIMULASI DENGAN PENGUKURAN ANTENA(C)

Parameter	Frekuensi kerja 2,4 GHz		Frekuensi kerja 2,6 GHz	
	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
Frekuensi Rasionansi	2,398 GHz	2,416 GHz	2,596 GHz	2,610 GHz
Return Loss	-40,494 dB	-19,02 dB	-32,825 dB	-20,31 dB
	2,356 GHz	2,384 GHz	2,542 GHz	2,570 GHz
Bandwidth	2,447 GHz	2,456 GHz	2,642 GHz	2,655 GHz
	3,795%	2,98%	3,852%	3,25%
	(91 MHz)	(72 MHz)	(100 MHz)	(85 MHz)
VSWR	1,0191	1,242	1,0468	1,226

Dapat dilihat pada Tabel 4 sampai6 terdapat perbedaan.Dari perbedaan data ini dapat dihitung kesalahan (*error*) relatifnya sebagai berikut :

$$\% \text{error} = \left| \frac{\text{Frekuensi kerja hasil pengukuran} - \text{Frekuensi kerja hasil simulasi}}{\text{Frekuensi kerja hasil simulasi}} \right| \times 100\%$$

TABLE VII  
PERHITUNGAN KESALAHAN (*ERROR*) RELATIF PENGUKURAN  
ANTENNA SEGITIGADUALBAND

Parameter	Frekuensi kerja 2,4 GHz			Frekuensi kerja 2,6 GHz		
	Anten a A	Anten a B	Anten a C	Anten a A	Anten a B	Anten a C
Frekuensi Rasionansi	0,71%	0,75%	0,75%	0,92%	0,46%	0,54%
Return Loss	53,25%	49,79%	53,03%	33,65%	25,23%	38,126%
Bandwidth	23,07%	27,47%	20,08%	15%	12%	15%
VSWR	23,83%	19,9%	20,08%	13%	9,8%	17,12%

Perbedaan-perbedaan yang terjadi antara simulasi dan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh berbagai macam penyebab.Secara garis besar ada beberapa penyebab yang menyebabkan hasil pengukuran parameter antenna tidak akurat dengan hasil simulasi. Penyebab-penyebab itu antara lain :

1. Pada simulasi semua keadaan yang terjadi adalah dalam keadaan ideal, sedangkan dalam pengukuran sebenarnya tidak dalam keadaan ideal.
2. Perancangan dengan CST Microwave Studio 2011 tidak memperhitungkan tebal tembaga dari substrat yang dipakai, tetapi kenyataannya tembaga pada substrat yang memiliki ketebalan walaupun kecil dapat mempengaruhi hasil fabrikasi.
3. Saat fabrikasi terjadi sedikit pergeseran pada penggabungan substrat pencatu dan substrat *patch* peradiasi, karena pergeseran sedikit saja dapat membuat perubahan signifikan.
4. Proses penyolderan konektor SMA dengan saluran pencatu mikrostrip yang kurang baik
5. Permittivitas relatif bahan substrat FR4 yang dibeli di pasaran yang tidak memiliki nilai pasti dapat mengakibatkan perbedaan penentuan permittivitas relatif dalam simulasi dan tentunya akan mempengaruhi hasil pengukuran antenna.

Kesalahan pengukuran disebabkan oleh kondisi lingkungan pengukuran yang masih memungkinkan adanya gelombang

pantul yang dihasilkan oleh dinding atau benda-benda di sekitar objek pengukuran

#### IV. KESIMPULAN

Pada tugas akhir ini telah dirancang antenna mikrostrip *Patch* segitigadual bandyang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz untuk aplikasi WiFi dan LTE.Berdasarkan hasil simulasi dan pengukuran antenna yang telah dilakukan maka dapat diperoleh berdasarkan parameter antenna sebagai berikut :  
Berhasil melakukan rancang bangun antenna yang mempunyai karakteristik *dualband*. Bekerja pada 2,4 GHz dan 2,6 GHz.

1. Hasil simulasi didapatkan antenna yang bekerja pada frekuensi 2,356 GHz – 2,447 GHz dengan *bandwidth* (91 MHz) dengan nilai *return loss* -40,494 dB dan nilai VSWR 1,0191 dan didapatkan antenna yang bekerja pada frekuensi 2,542 GHz – 2,642 GHz dengan *bandwidth* (100 MHz) dengan nilai *return loss* -32,825 dB dan nilai VSWR 1,0468. Gain 2,3 dB untuk frekuensi 2,4 GHz dan 4,11 dB untuk frekuensi 2,6 GHz. Impedansi masukan 49,84  $\Omega$ .
2. Hasil pengukuran tiga antenna mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang telah dibuat hasil untuk frekuensi (2,4 GHz) memiliki lebar pita frekuensi 70 MHz (A), 116 MHz (B), 72 MHz (C) dengan nilai VSWR minimum 1,262 (A), 1,222 (B), 1,242 (C) serta nilai *return loss* minimum -18,93 dB (A), -20,33 dB (B), -19,02 (C). hasil untuk frekuensi (2,6 GHz) memiliki lebar pita frekuensi 85 MHz (A), 112 MHz (B), 85 MHz (C) dengan nilai VSWR minimum 1,183 (A), 1,143 (B), 1,226 (C) serta nilai *return loss* minimum -21,78 dB (A), -24,54 (B), -20,31 (C). hasil pengukuran ini menunjukkan antenna mikrostrip antenna mikrostrip dengan *Patch Equilateral Triangular Dual Band* yang dibuat dapat direalisasikan dan dapat digunakan pada aplikasi *Wireless Fidelity* dan LTE.
3. Perbandingan perhitungan nilai kesalahan (*error*) relatif pada antenna mikrostrip *Patch* segitigadual bandyang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dan 2,6 GHz. dapat dilihat bahwa terjadi tingkat *error* untuk frekuensi 2,4 GHz pada frekuensi kerja sebesar (0,71%) untuk antenna A, (0,75%) untuk antenna B dan (0,75%) untuk antenna C. untuk Kesalahan (*error*) relative *Return Loss* terjadi sebesar (53,25%) untuk antenna A, (49,79%) untuk antenna B dan (53,03%) untuk antenna C. Untuk Kesalahan (*error*) relative *Bandwidth* terjadi sebesar (23,07%) untuk antenna A, (27,47%) untuk antenna B dan (20,08%) untuk antenna C. untuk Kesalahan (*error*) relative VSWR terjadi sebesar (23,83%) untuk antenna A, (19,9%) untuk antenna B dan (20,08%) untuk antenna C. tingkat *error* untuk frekuensi 2,6 GHz pada frekuensi kerja sebesar (0,92%) untuk antenna A, (0,46%) untuk antenna B dan (0,54%) untuk antenna C. untuk Kesalahan (*error*) relative *Return Loss* terjadi sebesar (33,64%) untuk antenna A, (25,23%) untuk antenna B dan (38,126%) untuk antenna C. Untuk Kesalahan (*error*) relative *Bandwidth* terjadi sebesar (15%) untuk antenna A, (12%) untuk antenna B dan (15%) untuk antenna C. untuk Kesalahan (*error*) relative VSWR terjadi sebesar

(13%) untuk antena A, (9,8%) untuk antena B dan (17,12%) untuk antena C.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]Abdurahman Amir, *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Panel 2,4 GHz Dengan Larik Biquad Ganda*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UNTIRTA: 2014. Cilegon
- [2]Alaydrus Mudrik, *Antena Prinsip dan Aplikasi*, Graha Ilmu. 2011. Yogyakarta.
- [3]Ali Hanafiah Rambe, *Rancang bangun Antena RectangularPatch Array 2x2 Pada Frekuensi 2,3 GHZ WiMAX*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UI Library: 2008.
- [4]Aryanta Dwi, *Analisis Pengalokasian Frekuensi Teknologi Long Term Evolution (LTE) di Indonesia*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. ITB: 2012. Bandung
- [5]Balanis,C.A. “*Antenna Theory Analysis and Design*”.1982. John Wiley & Sons, Inc., Singapore.
- [6]Dwi Hartanto, *Analisis Pengaruh FiniteGround Plane Terhadap Performansi Antena Mikrostrip CircularPatch*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UNIBRAW: 2011. Malang
- [7]Fitri Yuli Zulkifli, *Compact Multiband Microstrip Antenna Array*, Magister TesisProgram Pasca Sarjana Department of Electrical Engineering, University of Indonesia, UI Library, 2011
- [8]Herudin, *Perancangan Antena Mikrostrip Dual Band Untuk Aplikasi WiLan Dan LTE*. Jurnal elektronika. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UNTIRTA. 2012. Cilegon
- [9]Rahmad Taufik, *Rancang Bangun Antena Biquad Mikrostrip Untuk Aplikasi WiMAX*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UI Library: 2008,Depok.
- [10] Saidah Suyuti, *Studi Perkembangan Teknologi 4G – LTE dan Wimax di Indonesia*. Skripsi S1. Fakultas Teknik Program Teknik Elektro. UNHAS: 2011. Makasar
- [11] Surjati Indra, Eko Tjipto Rahardjo, Djoko Hartanto, *Perancangan Pembangunan Frekuensi Ganda Antena Mikrostrip Segitiga Sama Sisi Menggunakan Teknik Sambatan Elektromagnetik*,MAKARA, TEKNOLOGI VOL. 9, NO. 2, NOPEMBER 2005: 78-86

# KALIBRASI SENSOR GYROSCOPE DENGAN MULTIGAIN SEBAGAI SENSOR ROTASI PADA ROKET MENGGUNAKAN GUI LABVIEW

Priswanto<sup>1</sup>, Oyas Wahyunggoro<sup>2</sup>, Wahyu Widada<sup>3</sup>, Romi Wiryadinata<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Prodi Teknik Elektro Unsoed

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro FT UGM

<sup>3</sup> Lembaga Penerbangan dan Antariksa nasional

<sup>4</sup> Jurusan Teknik Elektro, FT-UNTIRTA

Email : [prist\\_02@yahoo.com](mailto:prist_02@yahoo.com), [romi@wiryadinata.web.id](mailto:romi@wiryadinata.web.id)

**Abstract**— In this research, gyroscope sensor with multigain designing and testing is conducted to detect rocket motion. Method used in this research is designing and experiment in laboratory. Gyroscope testing and calibration is conducted using Actidyn tri-axis simulator using Labview based GUI (Graphic User Interface). Calibration process is conducted to compare gyroscope reading angle speed with data in actidyn. Calibration parameter acquired is then simulated as calibration factor and is applied in Labview 2012. Calibration factor application in Labview is then tested with angle testing that is by providing angle motion treatment to gyroscope with Actidyn tri-axis simulator.

From the testing result average calibration factor acquired for ADXRS150 is 1,07928036. While angle testing with single gain resulted RMSE value of 1,586270833%, with average of angle deviation of 2,24903 degree. On the other hand angle testing with multigrain resulted RMSE value of 0,426675265% and angle deviation avarage of 1,207975265 degree.

**Keywords**— rate gyroscope, rocket rotation, multi gain, Labview.

## I. PENDAHULUAN

Gyroscope merupakan sensor inersia yang digunakan untuk mengukur kecepatan rotasi pada roket. Gerak rotasi roket tak menentu, dapat dalam keadaan lambat maupun cepat, sedangkan sensor gyroscope di pasaran tidak dirancang untuk keadaan tersebut, padahal kesalahan pembacaan data rotasi oleh sensor dapat berdampak besar bagi kinerja roket. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sistem sensor gyroscope yang dapat mengatasi permasalahan tersebut.

Beberapa hal yang menjadi permasalahan utama dalam pengembangan gyroscope ini adalah : bagaimana gyroscope dapat membaca secara akurat gerak rotasi roket serta bagaimana mengatasi drift noise gyroscope. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pengujian dan pengkalibrasian sensor gyroscope untuk mendeteksi gerak rotasi roket baik dalam keadaan lambat maupun cepat. Parameter hasil kalibrasi selanjutnya diuji pada model sistem gyroscope menggunakan perangkat lunak Labview, sehingga diharapkan dapat diperoleh parameter yang tepat dalam pembuatan model rancangan sistem sensor gyroscope untuk pemandu roket.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Gyroscope ADRXS150 dan ADXRS300

Gyroscope ADXRS150 dan ADXRS300 merupakan produk dari Analog Device. Secara prinsip gyroscope tersebut memiliki karakteristik yang sama. ADXRS150

merupakan gyroscope elektrik yang memiliki skala 150 °/s. Sedangkan Gyroscope ADXRS300, merupakan gyroscope elektrik yang memiliki skala ± 300 °/s. ADXRS150 dan ADXRS300 merupakan sensor kecepatan sudut dengan komponen elektronik terintegrasi yang di jual secara komersil. Sensor ini berukuran kecil dengan konsumsi daya rendah dan memiliki ketahanan yang baik terhadap guncangan dan getaran. Sensor ini merupakan terobosan baru yang menggabungkan sistem elektrik dan mekanik atau yang biasa disebut *integrated micro electromechanical system* (iMEMS). Tegangan masukan untuk ADXRS150 dan ADXRS300 adalah tegangan DC 4,75- 5,25volt sedangkan tegangan keluarannya adalah antara 0,25 sampai 4,75 volt. ADXRS300 memiliki sejumlah kaki yang masing-masing memiliki fungsi tertentu. Sensor gyroscope ADXRS300 ditunjukkan pada Gambar 1., berikut.



Gambar 1. Sensor gyroscope ADXRS300

Gyroscope ADXRS150 dan ADXRS300 akan mengeluarkan tegangan yang nilainya sebanding dengan nilai kecepatan sudut. Nilai tersebut ditentukan oleh nilai kepekaannya. Nilai kepekaan tersebut memiliki satuan milivolt per derajat per detik (mV/°/s). Gyroscope ADXRS300 memiliki nilai kepekaan 5 mV/°/s sedangkan ADXRS150 memiliki nilai kepekaan 12,5 mV/°/s .

Untuk mengkonversi tegangan keluaran gyroscope ke *degree/second* dapat digunakan persamaan :

$$\frac{\text{gyro output voltage} - \text{gyro zero rate}}{\text{sensitivity}} \dots\dots\dots(1)$$

Hasil tegangan keluaran kecepatan sudut yang bergantung terhadap waktu dapat di integralkan untuk memperoleh nilai perubahan sudut, dengan persamaan :

$$(\text{Sampel } 1 \times \text{waktu sampel} + \text{sampel } 2 \times \text{waktu sample})$$

atau

$$(\text{Waktu sampel}) \times (\text{Jumlah semua sampel})$$

atau

$$(\text{Rerata sampel} \times \text{periode}) \dots\dots\dots(2)$$

### 2.2 Model Matematis Gyroscope

Secara mekanis gerak *proff mass* dari struktur rate gyroscope merupakan gerak harmonis. Sedangkan secara elektrik keluarannya menghasilkan sinyal tegangan analog yang ekuivalen dengan kecepatan sudut. Sehingga bentuk

sinyalnya mengikuti persamaan gelombang harmonis sinusoidal sebagai berikut :

$$V(t) = A \sin (2\pi ft) \dots\dots\dots(3)$$

dengan V(t) = sinyal kecepatan sudut

- A = amplitudo
- f = frekuensi
- t = waktu

Keluaran sinyal *rate-gyroscope* masih mengandung noise yang disebabkan karena perubahan temperature, impedansi elektromagnetis, dan sebagainya. Sehingga persamaan (3) dapat dituliskan menjadi :

$$V(t) = A \sin (2\pi ft) + n(t)+b(t) \dots\dots\dots(4)$$

dengan ;

- V(t) = sinyal kecepatan sudut yang akan kita ukur
- n(t) = random noise
- b(t) = noise karena perubahan temperatur

Untuk mendapatkan hasil yang optimal, noise-noise tersebut harus dihilangkan atau diminimalkan. Berdasarkan proses filtering diatas, maka persamaan (4) dapat ditulis kembali menjadi.

$$V(t) = A \sin (2\pi ft) + [n(t) - n'(t)] + [b(t) - (b'(t))] \dots\dots\dots(5)$$

Dengan proses integral, perubahan sudut terhadap waktu dapat ditulis dengan persamaan :

$$\theta(t) = \int_{T1}^{T2} A \sin (2\pi ft) + [n(t) - n'(t)] + [b(t) - (b'(t))] dt \dots\dots\dots(6)$$

Untuk mendapatkan hasil sudut yang diinginkan, maka perlu dilakukan pengkalibrasian sensor. Sehingga, untuk memperoleh perubahan sudut yang terkalibrasi persamaan diatas ditulis kembali dengan sebuah parameter kalibrasi (K) menjadi persamaan berikut:

$$\theta_K(t) = K \int_0^T V(t) dt$$

$$= K \int_{T1}^{T2} A \sin (2\pi ft) + [n(t) - n'(t)] + [b(t) - (b'(t))] dt \dots\dots\dots(7)$$

dengan  $\theta_K(t)$  adalah perubahan sudut yang sudah dikalibrasi.

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Tahapan Penelitian

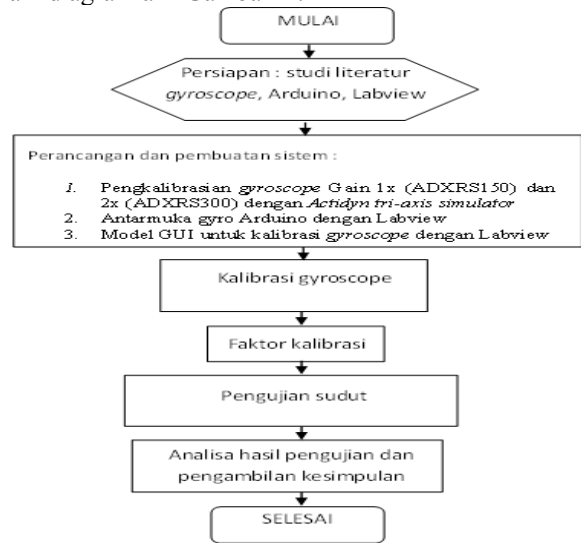
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dan uji laboratorium yang dilakukan dalam tahapan sebagai berikut.

- Tahap 1. Penelitian diawali dengan melakukan studi literatur tentang teknologi peroketan, sistem sensor rate *gyroscope* dan Labview 2012. Literatur diperoleh dengan melakukan browsing internet ke website pembuat *gyroscope* dan beberapa jurnal digital, serta jurnal hardcopy.
- Tahap 2. Membuat rancangan sistem sensor rate *gyroscope*. Pembuatan skematik rancangan sistem sensor rate *gyroscope* dilakukan menggunakan Proteus 7. Skematik rancangan dibuat berdasarkan hasil studi literature dan datasheet sensor rate *gyroscope* ADXRS150 dan ADXRS300.
- Tahap 3. Membuat model GUI (*Graphic User Interface*) untuk pengujian dan pengkalibrasian sensor *gyroscope* menggunakan Labview 2012
- Tahap 4. Melakukan pengujian dan kalibrasi prototype sistem sensor rate *gyroscope*. Pengujian dan kalibrasi dilakukan menggunakan *Actidyn tri-*

*axis simulator* yang memiliki akurasi sampai ± 0,0001%. Parameter hasil kalibrasi selanjutnya diaplikasikan sebagai faktor kalibrasi untuk pengujian sudut menggunakan pada Labview.

- Tahap 5. Melakukan analisa hasil pengujian prototype sistem sensor rate *gyroscope*. Pada tahap ini dilakukan analisis hasil perbandingan *gyroscope* dengan gain tunggal dan multigain. Untuk lebih memperjelas hasil perbandingan selanjutnya di gambarkan dalam bentuk grafik .
- Tahap 6. Mengambil kesimpulan berdasarkan hasil analisa pengujian. Berdasarkan hasil analisa tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai hasil akhir penelitian.

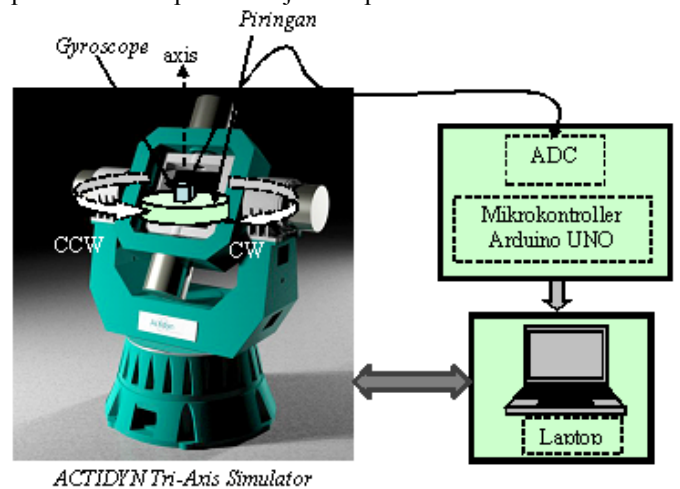
Tahapan-tahapan penelitian tersebut dapat digambarkan dalam diagram alir Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian

#### 3.2 Pengujian dan Pengkalibrasian Gyroscope

Proses pengujian dan pengkalibrasian sensor *gyroscope* dilakukan dengan *Actidyn tri-axis simulator* dengan perencanaan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



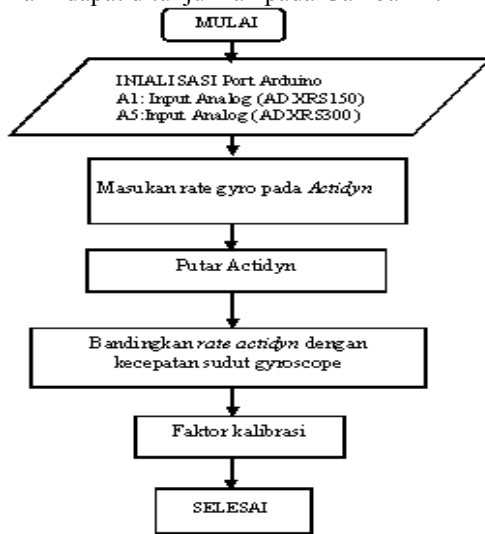
Gambar 3. Diagram blok pengujian dan pengkalibrasian sensor *gyroscope*

Gambar 3., menunjukkan teknik pengujian dan pengkalibrasian sensor *gyroscope* menggunakan *Actidyn tri-axis simulator*. Sensor rate *gyroscope* diletakkan ditengah piringan putar (posisi sensor sendiri tidak



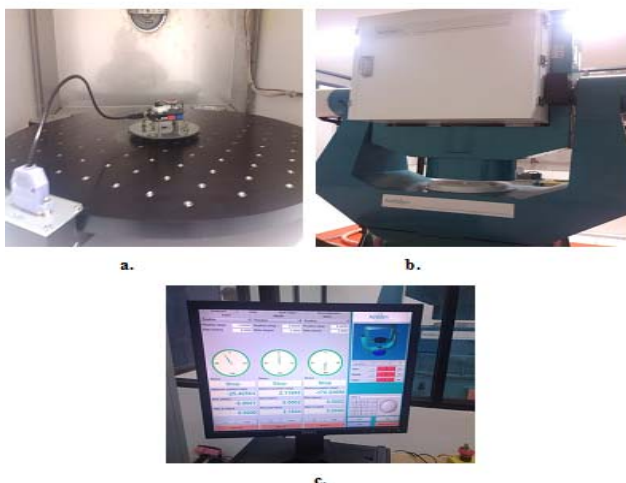
mempengaruhi hasil perhitungan). *Actidyn tri-axis simulator* menggunakan teknologi *brushless* sehingga memungkinkan untuk bandwidth *servo* yang besar dan *respon* dinamik yang tinggi. *Actidyn tri-axis simulator* dikendalikan dan dimonitoring dengan komputer, sehingga pembacaan kecepatan putaran sudutnya lebih akurat (*rate accuracy* sampai  $\pm 0,001$  %). Data akuisisi *gyroscope* dengan antarmuka Arduino UNO di kirim ke sebuah laptop atau PC (*personal computer*) untuk memonitor dan memproses perhitungan sinyal dari *gyroscope*. Sinyal tersebut diproses dan di analisa dengan menggunakan software Matlab. Kecepatan sudut putaran piringan dari sinyal kecepatan sudut dari *gyroscope* dibandingkan dengan pembacaan kecepatan sudut pada *Actidyn* untuk memperoleh parameter kalibrasi. Faktor kalibrasi dari masing-masing *gyroscope* yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam pengujian sudut.

Proses pengkalibrasian sensor *gyroscope* dalam bentuk diagram alir dapat ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir proses kalibrasi *gyroscope*

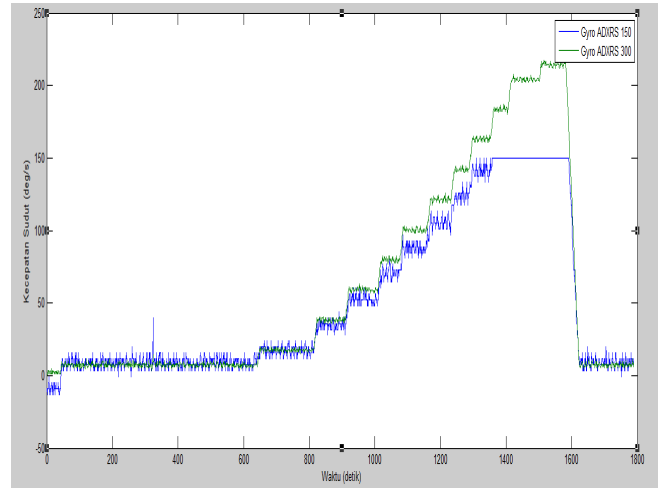
Secara lebih jelas, proses pengujian dan kalibrasi sensor *gyroscope* dengan *Actidyn* ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5.a. Papan kalibrasi sensor *gyroscope* dengan *Actidyn tri axis simulator*  
 b. *Actidyn tri axis simulator*  
 c. Tampilan software *Actidyn tri axis simulator*

Berdasar pada Gambar 5., (a,b dan c) tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut : Sensor *gyroscope* ADXR5150 dan ADXR3300 diletakkan pada bagian tengah piringan *Actidyn*. Kemudian *Actidyn* di putar pada rate (deg/s) yang

akan diujikan menggunakan software *Actidyn*. Pergerakan *Actidyn* akan menyebabkan putaran dengan kecepatan sudut yang sama pada *gyroscope*. Sinyal keluaran *gyroscope* akan dibaca oleh Arduino UNO yaitu pada pin analog A1 dan A5. Data serial *gyroscope* disimpan dalam file .txt, selanjutnya di proses *plotting* menggunakan MATLAB. Hasil *plotting* keluaran *gyroscope* di tunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sinyal kecepatan sudut *gyroscope*

Gambar 6., menunjukkan sinyal kecepatan sudut *gyroscope* ADXR5150 (biru) dan ADXR300 (hijau), yang di putar dengan kecepatan 10, 30, 50, 70, 90, 110, 130, 150, 170, 190 dan 210 (deg/s). Perbandingan rerata kecepatan sudut *gyroscope* dengan pembacaan kecepatan sudut pada *actidyn* di tunjukkan pada Tabel 4.1.

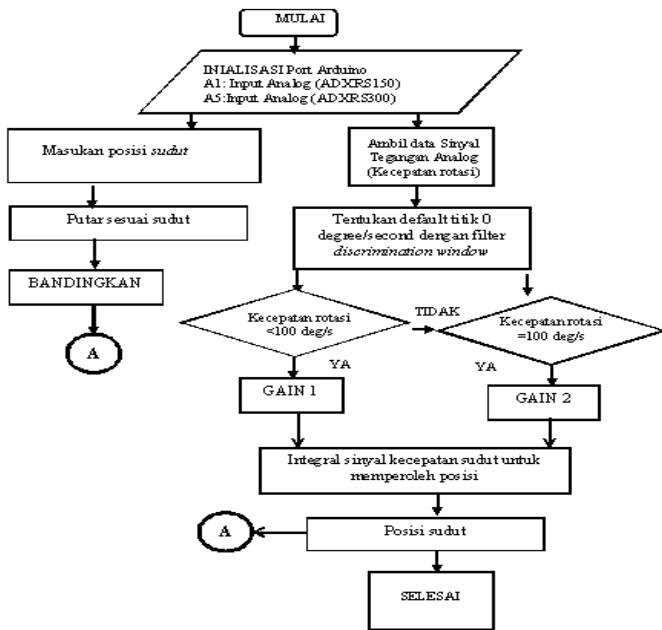
Tabel 4.1 Data pengkalibrasian sensor *gyroscope*

No.	<i>Actidyn</i> (deg/s)	ADXR5150 (deg/s)	ADXR3300 (deg/s)	Persentase Error 1 (%)	Faktor Kalibrasi 1	Persentase Error 2 (%)	Faktor Kalibrasi 2
1	10	9,8642436	8,3088954	1,3575639	1,013762473	16,91104594	1,203529412
2	30	29,464755	31,814272	1,7841497	1,018165599	6,0475725	0,942973023
3	50	49,756707	51,342131	0,4865863	1,004889655	2,684261973	0,973859071
4	70	68,915445	72,014663	1,5493646	1,015737477	2,878089652	0,97202427
5	90	90,407345	89,30317	0,4526059	0,995494334	0,774255611	1,007802971
6	110	110,44486	109,69138	0,4044213	0,995972077	0,280560091	1,002813494
7	130	129,71283	130,66145	0,2209022	1,002213912	0,508810192	0,994937656
8	150	150,96829	151,67807	0,6455233	0,993586169	1,118714022	0,988936627
9	170	145,90257	170,57674	14,174956	1,165161074	0,339255941	0,996618911
10	190	149,97556	190,12708	21,065494	1,266873065	0,066882747	0,99933162
11	210	149,97556	210,26393	28,583066	1,400228124	0,125680771	0,99874477
Nilai rata-rata				6,4295121	1,07928036	2,885011768	1,00741562

Berdasar Tabel 4.1., besar kalibrasi rata-rata sensor ADXR5150 sebesar 1,07928036 dan ADXR3300 sebesar 1,00741562 dengan persentase error ADXR5150 sebesar 6,4295121 % dan ADXR3300 sebesar 2,885011768 %.

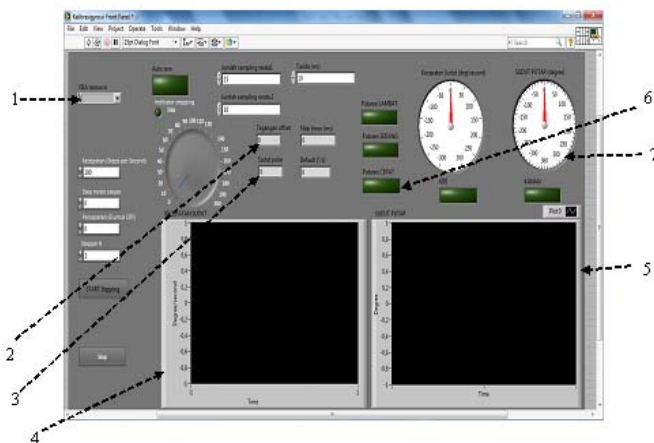
### 3.3 Pengujian sudut *Gyroscope*

Faktor kalibrasi yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya, selanjutnya di simulasikan sebagai parameter kalibrasi dan diaplikasikan pada Labview 2012. Pengaplikasian faktor kalibrasi pada Labview selanjutnya di uji dengan pengujian sudut yaitu dengan memberikan perlakuan gerak sudut pada *gyroscope* dengan *Actidyn*. Pengujian sudut dilakukan pada gain tunggal yaitu menggunakan satu sensor ADXR5150 atau ADXR3300 dan multigain yaitu dengan cara otomatis memilih gain berdasarkan kecepatan sudut rate *gyroscope*. Pengujian sudut *gyroscope* digambarkan pada diagram alir Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alir pengujian sudut *gyroscope*

Front panel pengujian sudut *gyroscope* dengan GUI (Grafik User Interface) berbasis Labview ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Front panel Labview pengujian sudut gyro

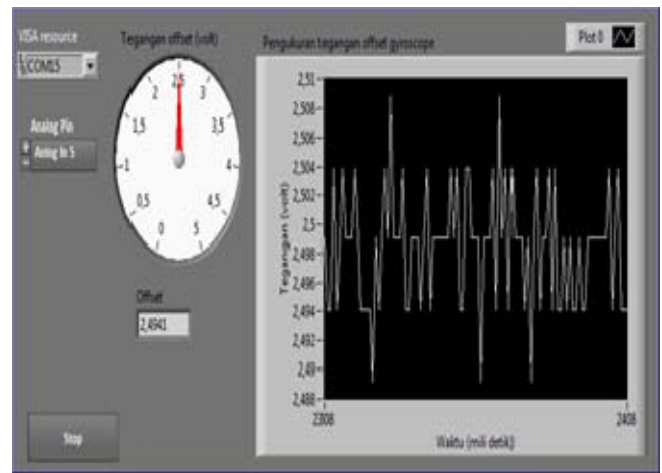
Keterangan :

1. Komunikasi COM dengan Arduino UNO
2. Tegangan offset *gyroscope*
3. Sudut putar gyro
4. Grafik kecepatan sudut
5. Grafik sudut putar gyro
6. Indikator kecepatan sudut dan arah putaran
7. Indikator meter posisi dan kecepatan sudut

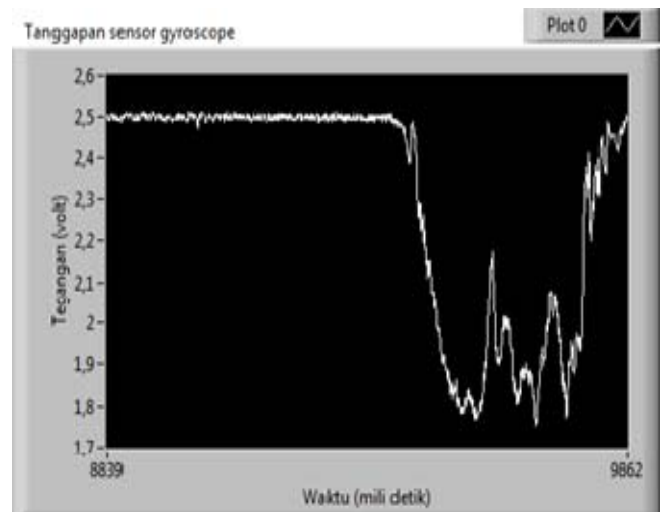
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil tanggapan sensor *gyroscope*

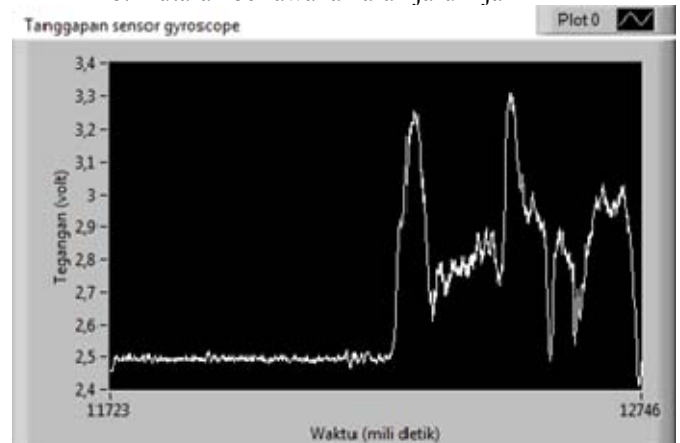
Pengujian respon sensor dilakukan pada saat *gyroscope* diam, kemudian pada saat *gyroscope* berputar dengan arah berlawanan jarum jam serta searah jarum jam untuk melihat sinyal tanggapan keluaran sensor *gyroscope*. Hasil tanggapan sensor ditunjukkan pada Gambar 9. (a, b, c).



a. Gyroscope dalam keadaan diam



b. Putaran berlawanan arah jarum jam



c. Putaran searah arah jarum jam

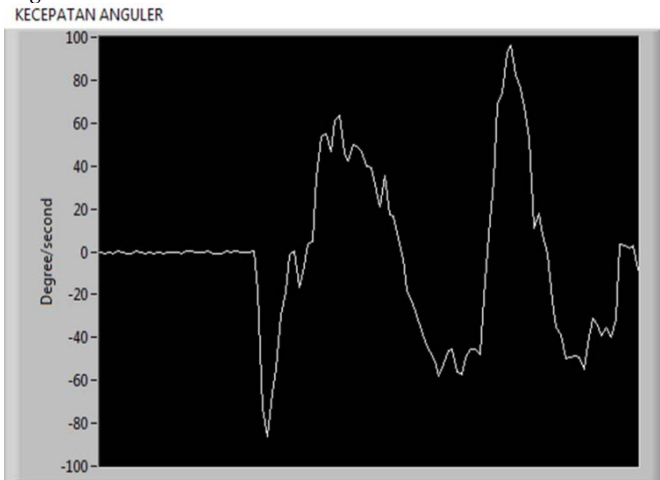
Gambar 9. Respon keluaran sensor *gyroscope* ADXRS300

Dari Gambar 9., terlihat bahwa ketika sensor dalam kondisi diam, sinyal terlihat pada tegangan sekitar 2,5 volt yaitu sebesar tegangan offset, sedangkan bila sensor di putar searah jarum jam maka keluaran tegangan analog sensor lebih besar dari tegangan *offset* dan untuk putaran berlawanan arah jarum jam maka keluaran tegangan analog lebih rendah dari tegangan *offset*.

##### 4.2 Sinyal kecepatan sudut dan sudut putar *gyroscope*

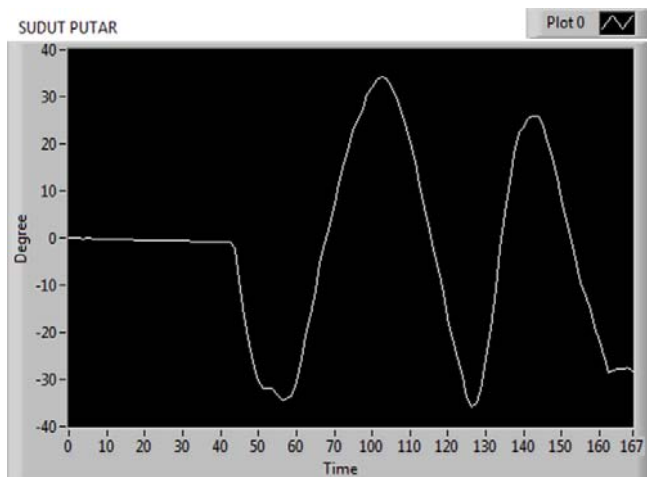
Sinyal kecepatan sudut *gyroscope* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1). Pada Gambar 10., di tunjukkan grafik hasil pembacaan sinyanya kecepatan sudut *gyroscope* (*degree/second*). Berdasar pada Gambar 10.,

tersebut, pada saat diam kecepatan sudut menunjukkan nilai  $0 \text{ degree/second}$ . Selanjutnya terlihat pergerakan *gyroscope* berlawanan arah jarum jam dengan kecepatan sampai sekitar  $80 \text{ degree/second}$ , berhenti sebentar, kemudian bergerak lagi searah jarum jam dengan kecepatan sekitar  $60 \text{ degree/second}$ .



Gambar 10. Sinyal kecepatan sudut *gyroscope* ( $\text{degree/second}$ )

Dengan menggunakan persamaan (6), dari hasil pengujian sinyal kecepatan sudut, dapat diperoleh pergerakan posisi *gyroscope* ( $\text{degree}$ ), yaitu dengan cara melakukan pengintegralan sinyal kecepatan sudut tersebut. Hasil pengukuran sinyal integral kecepatan sudut ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Sinyal integral kecepatan sudut ( $\text{degree}$ )

Berdasar pada Gambar 10., tampak *gyroscope* diam (posisi  $0 \text{ degree}$ ) sampai kira-kira  $T=40$  detik. Kemudian *gyroscope* terbaca bergerak berlawanan jarum jam sejauh sekitar  $35 \text{ degree}$ , selanjutnya diputar searah jarum jam sejauh  $70 \text{ degree}$  atau sebesar  $35 \text{ degree}$  arah positif dari titik  $0 \text{ degree}$ , dan seterusnya.

#### A. 4.3 Hasil Pengujian Sudut Gyroscope

Pengujian sudut dilakukan dengan menerapkan faktor kalibrasi yang didapat dari percobaan sebelumnya. Hasil pengujian yang didapat kemudian dibandingkan dengan sudut sebenarnya, sehingga didapat besaran error. Hasil pengujian sudut dengan gain tunggal dan multi gain ditunjukkan pada Tabel 4.2., dan 4.3.

Tabel 4.2 Pengujian sensor *gyroscope* dengan gain tunggal ADXRS300 (faktor kalibrasi =  $1,00741562$ ) dengan kecepatan  $< 100 \text{ deg/s}$  dan  $\geq 100 \text{ deg/s}$ .

No.	Sudut (derajat)	Gyroscope (derajat)	Deviasi sudut (derajat)	Persen error (%)
1	36	34,782	1,218	3,383333333
2	72	68,638	3,362	4,669444444
3	108	106,686	1,314	1,216666667
4	144	142,769	1,231	0,854861111
5	180	181,976	1,976	1,097777778
6	216	217,694	1,694	0,784259259
7	252	249,7887	2,2113	0,8775
8	288	284,483	3,517	1,221180556
9	324	320,754	3,246	1,001851852
10	360	357,279	2,721	0,755833333
Rata-rata			2,24903	1,586270833

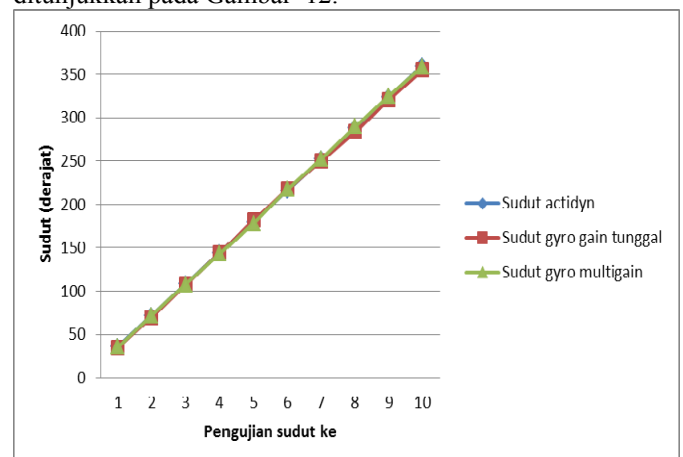
Tabel 4.3 Pengujian sensor *gyroscope* dengan multi gain (gain 1x dengan faktor kalibrasi =  $1,07928036$  dan gain 2x dengan faktor kalibrasi =  $1,00741562$ ), dengan kecepatan  $< 100 \text{ deg/s}$  dan  $\geq 100 \text{ deg/s}$ .

No.	Sudut	Gyroscope (derajat)	Deviasi sudut (derajat)	Persen error (%)
1	36	35,837	0,163	0,452777778
2	72	72,298	0,298	0,413888889
3	108	107,325	0,675	0,625
4	144	143,151	0,849	0,589583333
5	180	179,232	0,768	0,426666667
6	216	217,047	1,047	0,484722222
7	252	252,362	0,362	0,143650794
8	288	289,076	1,076	0,373611111
9	324	325,347	1,347	0,415740741
10	360	358,772	1,228	0,341111111
Rata-rata			1,207975265	0,426675265

Dari Tabel 4.2., dan 4.3., tersebut diperoleh deviasi sudut rata-rata untuk gain tunggal sebesar  $2,24903$  derajat dengan prosentase kesalahan rerata sebesar  $1,586270833 \%$ . Sedangkan pada pengukuran dengan multigain diperoleh deviasi sudut rerata sebesar  $1,207975265$  dan prosentase kesalahan rerata sebesar  $0,426675265 \%$ .

#### 4.4 Analisa Hasil

Berdasar pada hasil pengujian sensor *gyroscope*, terdapat perbedaan hasil yang cukup signifikan antara *gyroscope* yang menggunakan gain tunggal dibandingkan dengan multigain. Dalam bentuk grafik, perbandingan hasil pengukuran *gyroscope* dengan gain tunggal dan multigain ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Perbandingan pengukuran *gyroscope* gain tunggal dengan multigain

## UCAPAN TERIMA KASIH

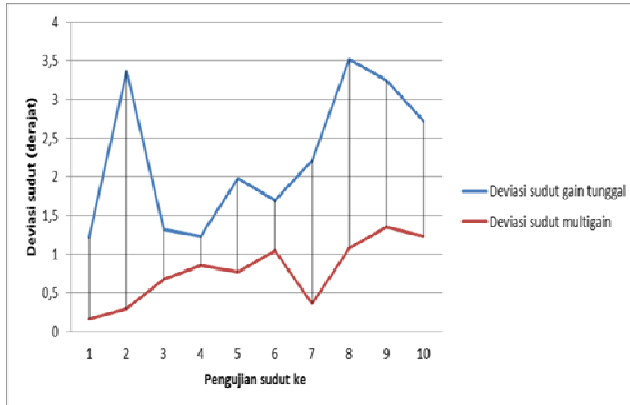
Terima kasih penulis sampaikan dengan hormat atas bantuan dan kerjasamanya sehingga penelitian dapat berjalan lancar kepada;

1. Pusat Teknologi Roket LAPAN
2. Laboratorium Teknik Elektro Unsoed
3. Semua pihak yang turut membantu dalam penelitian ini.

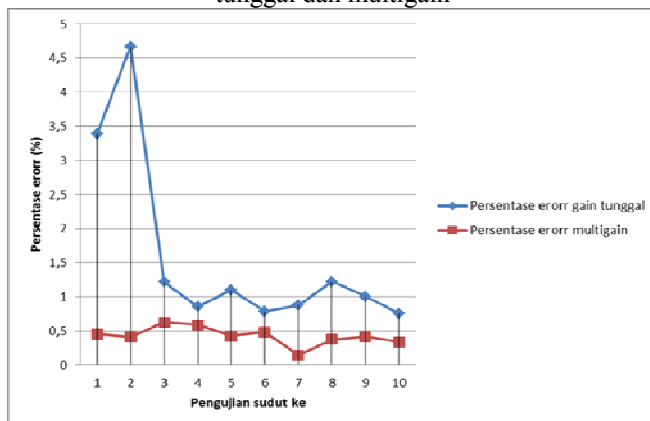
## REFERENSI

- [1] Priswanto, *et al.*, "Analisis Sensor Rate Gyroscope Untuk Roket," in *CITEE UGM*, ed. Yogyakarta, 2009.
- [2] Widada W, "Rancang Bangun Sistem Sensor Rotasi 3-Axis Berbasis Rate Gyroscope dan Mikrokontroler Untuk Payload Roket," *JANAS*, 2005.
- [3] Wiryadinata R. and Widada W, "Error Correction of Gyroscope Calibration for Inertial Navigation System Algorithm," *SNATI*, 2008.
- [4] Arnaudov, *et al.*, "Improvement in the Method for Bias Drift Compensation in Micromechanical Gyroscope," *Radioengineering*, vol. 14 No. 2, pp. 7-12, 2005.
- [5] ----- (2004). *ADXRS150 Datasheet*. Available: <http://www.analog.com>
- [6] ----- (2004). *ADXRS300 Datasheet*. Available: <http://www.analog.com>
- [7] Wahyudi, *et al.*, "Metode Kalibrasi Sensor Rate Gyroscope Untuk IMU Roket," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 10 No.2, pp. 105-112, 2012.
- [8] Mubarak and Asep, "Pendeteksi Rotasi Menggunakan Gyroscope Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535," 2009.
- [9] B. W. Evans, *Arduino Programming Notebook: Creative Commons Attribution-Share Alike 2.5 License*, 2008.
- [10] Artanto. D, *Interaksi Arduino dan Labview*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2012.
- [11] R. Bitter, *Labview Advance Programming Techniques*: CRC Press LLC, 2001.
- [12] NI-Tutorial 8534. (2012). *Advantages of Using Labview in Academic Research*. Available: <http://www.ni.com>
- [13] NI-Tutorial 12879. (2011). *Top 5 Reasons Labview Makes You More Productive When Using Arduino*. Available: <http://www.ni.com>

Secara prinsip hasil pengukuran sudut baik dengan gain tunggal maupun dengan multigain berhasil dengan baik. Hal tersebut bisa dilihat dari Gambar 12., yang menampilkan perbandingan sudut sebenarnya, sudut terukur dengan gain tunggal dan sudut terukur dengan multigain yang terlihat hampir simetris linier. Untuk analisis lebih jauh lagi kita lihat deviasi sudut hasil pengukuran dan perbandingan *error* antara gain tunggal dan multigain, seperti ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Perbandingan deviasi sudut terukur gain tunggal dan multigain



Gambar 14. Perbandingan persentase error gain tunggal dan multigain

Berdasar pada grafik Gambar 13., dan 14 terlihat jelas perbandingan akurasi yang cukup signifikan antara gyro dengan gain tunggal dan multigain. *Gyroscope* dengan multigain memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dengan deviasi sudut dan *error* yang lebih kecil dibandingkan dengan *gyroscope* dengan gain tunggal.

## V. PENUTUP

Berdasar hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Faktor kalibrasi rata-rata ADXRS150 sebesar 1,07928036 dan ADXRS300 sebesar 1,00741562.
2. Pengujian sudut dengan gain tunggal menghasilkan nilai RMSE sebesar 1,586270833 %, dengan rata-rata penyimpangan sudut sebesar 2,24903 derajat. Sedangkan pengujian sudut dengan multigain menghasilkan nilai RMSE sebesar 0,426675265 % dan rata-rata penyimpangan sudut sebesar 1,207975265 derajat. Hal tersebut menunjukkan hasil pengukuran yang lebih akurat pada *gyroscope* dengan multigain.

# UJICоба VOIP SOFTPHONE PADA MOBILE PHONE ANDROID DAN KOMPUTER MELALUI JARINGAN WIRELESS LAN

Heri Andrianto<sup>1</sup>, Daniel Setiadikarunia<sup>2</sup>, Richard<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Kristen Maranatha  
 Jl. Prof. Drg. Suria Sumantri 65, Bandung, Indonesia  
 heri\_cdrr@yahoo.com, blessed\_dsk@yahoo.com, corser\_speed@yahoo.co.id

**Abstrak** – Kebutuhan akan informasi dan komunikasi semakin meningkat akibat berkembangnya teknologi. Sehingga dibutuhkan media dan sarana komunikasi yang akurat, cepat, efisien dan hemat biaya. Salah satunya media komunikasi yang dikembangkan menggunakan jaringan internet yaitu *Voice Over Internet Protocol (VoIP)*. VoIP merupakan teknologi yang dapat menggabungkan antara jaringan telepon dengan komunikasi data. Pada penelitian ini telah direalisasikan jaringan VoIP dengan server Asterisk. Komunikasi jaringan menggunakan koneksi Wi-Fi yang menghubungkan server dan *client (user)*. Antar *client* baik yang menggunakan laptop yang terinstal *softphone* x-lite atau menggunakan *smartphone* Android yang terinstal *softphone* SIP telah dapat berkomunikasi suara dalam satu jaringan yang terhubung melalui koneksi Wi-Fi.

**Kata Kunci** : *Softphone, SIP, Android, VoIP dan Wi-Fi*

## I. PENDAHULUAN

Saat ini kebutuhan akan informasi dan komunikasi semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi. Sehingga dibutuhkan media dan sarana komunikasi yang akurat, cepat, efisien dan hemat biaya. Salah satu media komunikasi yang dikembangkan adalah telepon. Teknologi telepon untuk komunikasi jarak jauh biasanya menggunakan PSTN. Penggunaan teknologi PSTN tidak efektif dikarenakan sarana dan biaya yang relatif mahal, tetapi seiringnya bertambah waktu, muncul suatu teknologi yang dapat menggabungkan antara jaringan telepon dengan komunikasi data yaitu *Voice Over Internet Protocol (VoIP)*.

Meningkatnya pengguna internet dengan media wireless LAN (Wi-Fi) baik menggunakan perangkat komputer maupun *mobile phone* ini maka dirancangnya jaringan IP-PBX yang merupakan fitur dari jaringan VoIP. Dengan teknologi ini, komunikasi suara pun dapat dilakukan melalui koneksi wireless LAN (Wi-Fi) yang mudah diakses. Hal tersebut menyebabkan komunikasi menjadi lebih efisien.

Penggunaan perangkat *mobile* semakin berkembang, salah satu perangkat yang banyak digunakan adalah *smartphone* berbasis Android. Android merupakan salah satu dari sistem operasi pada *smartphone* yang berbasis pada pemrograman Java dan XML. Dengan menggunakan aplikasi VOIP *softphone* pada Android akan memudahkan pengguna untuk berkomunikasi dalam suatu area tertentu melalui koneksi wireless LAN.

## II. KAJIAN PUSTAKA

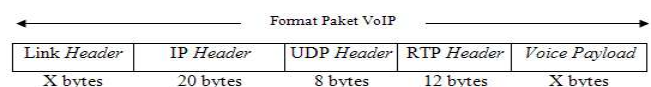
### 2.1 VoIP<sup>[1]</sup>

Voice Over Internet Protocol (VoIP) merupakan teknologi yang mampu melewatkan percakapan suara, video dan data yang berbentuk paket melalui jaringan IP. Jaringan IP adalah jaringan komunikasi data yang berbasis packet switching, sehingga dalam melakukan panggilan telepon dapat menggunakan jaringan IP atau internet. Data suara diubah menjadi kode digital dan dialirkan melalui jaringan yang mengirimkan paket-paket data, tidak seperti analog telepon (PSTN) yang melalui circuit switching.

Kualitas suara pada VoIP ditentukan dalam beberapa parameter yaitu kapasitas bandwidth, tingkat hilang paket dan waktu delay yang terjadi di dalam jaringan. Kapasitas bandwidth adalah ketersediaan sumber daya jaringan dalam bentuk lebar pita yang digunakan untuk mentransmisikan data paket. Tingkat hilang paket adalah parameter yang menyatakan besarnya kesalahan yang terjadi sepanjang jalur pengiriman data paket dari pengirim ke penerima. Waktu tunda adalah parameter yang menyatakan rentang waktu yang diperlukan untuk mengirimkan paket dari pengirim ke penerima.

Setiap paket VoIP terdiri dari dua bagian, yaitu header dan payload (beban). Header terdiri atas IP header, RTP (Real Time Transport Protocol) header, UDP (User Datagram Protocol) header dan Ethernet header. IP header yang dimiliki oleh IPv6 sebesar 40 bytes.

IP header bertugas menyimpan informasi routing untuk mengirimkan paket-paket ke tujuan. Pada setiap header IP disediakan Type Of Service (TOS) atau tipe layanan yang memungkinkan paket tertentu seperti paket suara diperlakukan berbeda dengan paket non real time. Format paket IPv4 dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut ini:



Gambar 2.1 Format paket VoIP IPv4

### 2.2 Protokol-Protokol VoIP<sup>[2]</sup>

VoIP telah diimplementasikan dalam berbagai macam teknik, paten dan standar serta protokol terbuka. Protokol dalam VoIP merupakan aturan-aturan yang ada agar komunikasi dapat melewati suatu jaringan. Protokol-protokol yang mendukung VoIP antara lain :

IP (Internet Protocol)

Internet Protokol dirancang untuk melakukan interkoneksi sistem komunikasi komputer pada jaringan paket switched. Pada jaringan TCP/IP, sebuah komputer diidentifikasi dengan alamat IP. Tiap-tiap komputer memiliki alamat IP yang unik, antara yang satu dengan lainnya berbeda, perbedaan dimaksudkan untuk mencegah kesalahan pada transfer data. Secara umum protokol ini bertugas untuk menangani pengecekan error pada saat transfer data. Salah satu hal penting dalam IP pada pengiriman informasi adalah metoda pengalamatan, pengiriman dan penerimaan data.

#### UDP (User Datagram Protocol)

UDP pada VoIP digunakan untuk mengirimkan audio streaming yang dikirimkan secara terus menerus. UDP digunakan pada VoIP karena pada pengiriman audio streaming yang berlangsung terus menerus lebih mementingkan kecepatan pengiriman data agar tiba di tujuan tanpa memperhatikan adanya paket yang hilang (loss) walaupun loss mencapai 50% dari jumlah paket yang dikirimkan. Karena UDP mampu mengirimkan data streaming dengan cepat, maka dalam teknologi VoIP UDP merupakan salah satu protokol penting yang digunakan sebagai header pada pengiriman data selain RTP dan IP.

#### Real Time Protocol (RTP)

Real Time Protokol (RTP) adalah protokol yang digunakan user/client dalam melakukan pembicaraan atau voice. Tiap-tiap paket berisi potongan paket dari voice conversation. Protokol RTP menyediakan mekanisme transport end-to-end layanan audio dan video secara real-time. RTP biasanya digunakan untuk mengirimkan data melalui UDP. Besarnya ukuran paket suara bergantung pada codec yang digunakan. Jika paket RTP hilang (lost) pada jaringan, maka RTP tidak akan melakukan retransmission (pengiriman ulang). Hal ini agar user tidak terlalu lama menunggu yang menyebabkan delay.

#### SIP<sup>[5][6]</sup>

SIP (Session Initiation Protocol) dikembangkan oleh IETF (Internet Engineering Task Force). SIP adalah salah satu metode signaling atau pensinyalan dari panggilan VoIP pada layer aplikasi yang berfungsi untuk membangun, memodifikasi, dan mengakhiri suatu sesi multimedia yang melibatkan satu atau beberapa pengguna (user). Sesi multimedia disini adalah pertukaran data antar pengguna yang bisa meliputi suara, video, dan text. SIP merupakan protokol berbasis teks yang mirip dengan protokol HTTP dan Simple Mail Transfer Protocol (SMTP). SIP tidak menyediakan layanan secara langsung, tetapi menyediakan pondasi yang dapat digunakan oleh protokol aplikasi lainnya untuk memberikan layanan yang lebih lengkap bagi pengguna, contohnya dengan protokol Real Time Transport Protocol (RTP) untuk transfer data secara real-time, dengan SDP (Session Description Protocol) untuk mendeskripsikan sesi multimedia, dengan Media Gateway Control Protocol (MEGACO) untuk komunikasi dengan Public Switch Telephone Network (PSTN). Meskipun demikian, fungsi dan operasi dasar SIP tidak tergantung pada protokol tersebut. SIP juga tidak tergantung pada protokol layer transport yang digunakan.

#### Fungsi-Fungsi SIP

SIP memiliki fungsi-fungsi yang didefinisikan sebagai berikut:

- User location SIP menyediakan kemampuan untuk menemukan lokasi pengguna akhir yang bermaksud akan membangun sebuah sesi atau mengirimkan sebuah permintaan.
- User availability SIP memungkinkan determinasi keinginan pengguna untuk melakukan komunikasi.
- User capabilities SIP memungkinkan determinasi kemampuan media dari perangkat yang terlibat di dalam sesi.
- Session setup SIP memungkinkan modifikasi, transfer, dan terminasi dari sebuah sesi aktif.

#### Elemen Jaringan SIP

Jaringan SIP terdiri dari elemen-elemen sebagai berikut:

- User Agent (UA) berfungsi untuk menginisiasi atau merespon transaksi SIP. Sebuah UA dapat bertindak sebagai klien atau server.
- User Agent Client (UAC) berfungsi untuk menginisiasi permintaan SIP dan menerima respon SIP.
- User Agent Server (UAS) berfungsi untuk menerima permintaan SIP dan mengirimkan kembali respon SIP.
- SIP Proxy adalah entitas yang berfungsi untuk proses routing dan meneruskan permintaan SIP kepada UAS atau proxy lain atas permintaan UAC.
- Redirect Server adalah sebuah UAS yang membangkitkan respon SIP terhadap permintaan yang diterima, memungkinkan UAC secara langsung menghubungi Uniform Resource Identifiers (URI).
- Registrar Server adalah sebuah UAS yang menerima permintaan registrasi SIP dan memperbaharui informasi dari pesan tersebut ke dalam database lokasi.
- Back-to-Back User Agent (B2BUA) adalah entitas yang berfungsi untuk memproses permintaan SIP yang diterima. B2BUA akan bertindak sebagai UAC, sehingga membangkitkan kembali permintaan SIP dan mengirimkannya ke dalam jaringan.

#### Metoda Perintah SIP

SIP memiliki metoda request sebagai berikut:

- INVITE : Digunakan untuk membangun sebuah sesi media antar user agent.
- ACK : Konfirmasi bahwa user agent telah menerima pesan terakhir dari serangkaian pesan INVITE.
- BYE : Mengakhiri sesi antara dua pengguna dan dapat dikirim oleh setiap pengguna.
- CANCEL : untuk membatalkan INVITE.
- OPTION : Permintaan informasi mengenai kemampuan server.
- REGISTER : Digunakan untuk registrasi di registrar server.
- INFO : Untuk membawa pesan

Tabel 1. perbandingan beberapa standar coding



Gambar 1. Diagram arsitektur panggilan SIP connected

Cara kerja gambar 2.4:

- Phone A INVITE phone B.
- Proxy menglokasikan phone B ketika merespon phone A yang sedang membangun sesi.
- Phone B menanggapi Proxy bahwa sesi sedang berlangsung - Proxy merespon phone A bahwa sesi sedang berlangsung.
- Phone B menanggapi Proxy yang menetapkan sesi - Proxy merespon ke phone A bahwa phone B telah membentuk sesi.
- Phone A mengirimkan konfirmasi sesi dengan mengirim pesan ACK - Proxy merespon ke Phone B bahwa Phone A telah mengkonfirmasi sesi dan pembicaraan dapat dilakukan.
- Setelah panggilan selesai, phone B menutup telepon dan pesan BYE dikirimkan ke proxy - Proxy merespon pesan BYE ke Phone A.
- Phone A mengkonfirmasi dengan OK ke Proxy - Proxy merespon ke Phone B bahwa Phone A mengkonfirmasi dengan OK.

Codec Pendukung VoIP<sup>[3][4]</sup>

Codec (Compression/Decompression) merupakan teknologi yang berfungsi memaketkan data voice atau suara ke dalam format lain dengan perhitungan tertentu, sehingga menjadi lebih teratur dan mudah dipaketkan. Codec bertujuan untuk mengurangi penggunaan bandwidth di dalam transmisi sinyal pada setiap panggilan dan sekaligus berfungsi untuk meningkatkan jumlah panggilan. Dengan adanya codec, penggunaan bandwidth pada jaringan VoIP dapat dihemat.

Codec mempengaruhi kebutuhan bandwidth untuk VoIP semakin baik codec melakukan sampling, maka makin efisien juga jalur yang digunakan. Kualitas akhir suara juga harus diperhatikan agar tidak sekadar cepat, codec juga harus menghasilkan sinyal audio yang baik. Codec merubah isyarat analog menjadi digital untuk pemancaran melalui rangkaian data. Berikut adalah tabel perbandingan beberapa standar coding dan teknik kompresi, lengkap dengan MOS (Mean Opinion Score) yang merupakan standar penilaian kualitas suara sesuai dengan standar ITU-T yang dipergunakan pada VoIP :

No	Compression Method / Codec	Bit Rate (Kbps)	PayLoad Size (Byte)	Sample size (ms)	*MOS (1-5)
1	G.711	64	160	20	4.1
2	G.726	32	60	0.125	3.85
3	G.728 (License)	16	40	0.625	3.61
4	G.729 (License)	8	20	10	3.92
5	G.729a	8	10	10	3.7
6	G.723.1	5.3	30	30	3.65

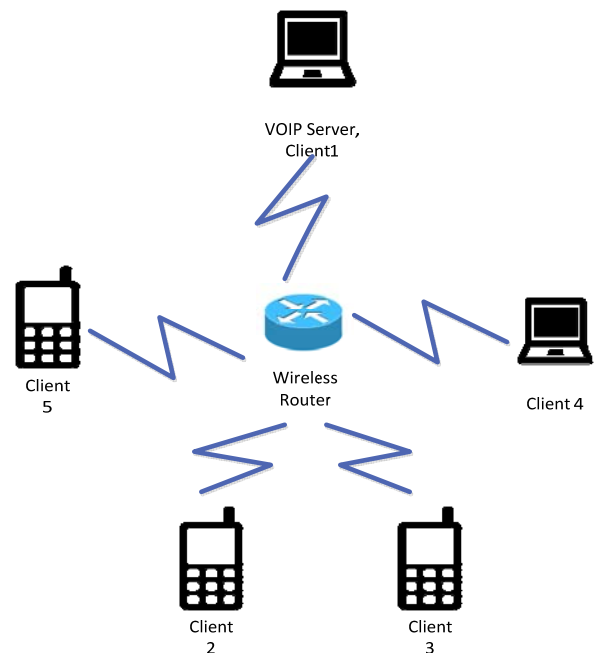
(Sumber: Cisco Press , VoIP Fundamentals, 2000)

\*MOS (Mean Opinion Score) :

1 = Bad, 3 = Fair, 2 = Poor, 4 = Good, 5 = Excelent

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan yaitu diawali dengan studi literature terhadap penelitian terkait, kemudian membuat perancangan sistem IP PBX, rancangan sistem IPPBX dapat dilihat pada gambar 3.1. Setelah dirancang kemudian sistem IPPBX realisasikan di sebuah rumah yang menjadi tempat percobaan, denah rumah dapat dilihat pada gambar 4.3, server Voip dan client Voip terhubung ke router secara nirkabel.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem IP PBX yang akan dibangun

Komputer yang dijadikan sebagai server VOIP (IP-PBX) sekaligus voip client yaitu menggunakan Laptop Acer Aspire 4530 dengan Os Window 7, dengan menggunakan vmware workstation dilakukan instalasi Linux Open Suse 10.2 dan Asterisk PBX 1.4.17. Wireless Router yang digunakan yaitu TP-Link TL-WR841ND. VOIP client yang digunakan yaitu berupa softphone pada mobile phone

android dan komputer. Mobile phone android yang digunakan yaitu Samsung Galaxy W/ Samsung GT-I8160, Samsung Galaxy Tab 2(7.0) P3100, dan Smartfren Andromax U 4.5 LE yang sudah terinstal aplikasi voip softphone SIPPhone. VOIP client yang berupa computer menggunakan Compaq Presario V3000 yang sudah terinstal voip softphone X-Lite. Langkah berikutnya menambahkan user extention pada server Voip, lalu dilakukan konfigurasi di softphone mobile phone dan komputer, setelah itu dilakukan pengujian. Penambahan extention pada server Voip dapat dilihat pada table 3.1.

Tabel 2. Penambahan Extention ke IP PBX Asterisk

VOIP Client	Acer Aspire 4530	Samsung Galaxy Tab 2 7.0 (GT-P3100)	Compaq Presario V3000	Samsung Galaxy W (GT-I8150)	Smartfren Andromax U 4.5 LE
Softphone	X-Lite	SIPdroid	X-Lite	SIPdroid	SIPdroid
User Extention	101	102	103	104	105
OS	-	Jelly Bean	-	Gingerbread 2.3.6	Jelly Bean 4.1.2
Android Version	-	4	-	2	4

#### IV. PENGUJIAN

Pengamatan dilakukan dengan 2 cara, pertama dengan melakukan capture paket data pada wireless network di komputer Server VOIP. Capture dilakukan dengan aplikasi Wireshark. Cara kedua dengan melakukan komunikasi antar client dan melihat keberhasilan melakukan komunikasi, serta delay komunikasi pada beberapa client.

##### 4.1 Pengamatan Paket Data

Pengamatan paket data dengan aplikasi wireshark dilakukan pada 2 client, yaitu saat client 104 (Samsung Galaxy W) menelepon (dialling) client 102 (Samsung Galaxy Tab2).

Dilakukan filter untuk protocol SIP:

Gambar 3. Tampilan capture protokol SIP

##### SIP Signalling

###### • Register

No.	Time	Source	Destination
15	5.099978000	192.168.0.104	192.168.0.105
SIP	584	Request: REGISTER sip:192.168.0.105	
No.	Time	Source	Destination
16	5.100774000	192.168.0.105	192.168.0.104
SIP	460	Status: 100 Trying (1 bindings)	
No.	Time	Source	Destination
17	5.103751000	192.168.0.105	192.168.0.104
SIP	556	Status: 200 OK (1 bindings)	

Semua client yang teregistrasi pada server Asterisk akan melakukan konfirmasi ke server sebelum dapat melakukan panggilan, proses ini disebut register. Client 104 pada Samsung Galaxy W (nomor IP 192.168.0.104) akan melakukan register ke server/proxy (nomor IP 192.168.0.105) dan client 102 GalaxyTab2 (nomor IP 192.168.0.102) akan melakukan proses register ke server yang sama. Server Asterisk disini bertugas sebagai proxy server sekaligus sebagai registrar server yang berfungsi menerima dan menyimpan data yang berisi alamat client. Kemudian server mengirimkan respon 100 trying yang menandakan bahwa request register telah diterima dan respon 200 OK yang mengindikasikan bahwa proses register berhasil dilakukan.

###### • Invite

No.	Time	Source	Destination
19	5.232515000	192.168.0.104	192.168.0.105
SIP/SDP	912	Request: INVITE sip:102@192.168.0.105	

Setelah proses register berhasil dilakukan, client siap untuk melakukan panggilan. Pertama dialling dilakukan dari nomor 104 ke client 102. SIP akan melakukan proses invite dari client (192.168.0.104) ke server Asterisk dengan IP 192.168.0.105. Invite merupakan sebuah metoda dari SIP untuk meminta sebuah server VoIP melakukan panggilan ke tujuan yang telah teregister

###### • 100 Trying

No.	Time	Source	Destination
20	5.234371000	192.168.0.105	192.168.0.104
SIP	458	Status: 100 Trying	

Request invite dari client 104 (192.168.0.104) akan direpson oleh server Asterisk (192.168.0.105) dengan mengirimkan sinyal respons 100 Trying. Respons ini mengindikasikan bahwa sebuah request (invite) telah diterima oleh server dan sebagai respon checking kembali pada client 104.

###### • 180 Ringing

No.	Time	Source	Destination
29	6.329220000	192.168.0.102	192.168.0.105
SIP/SDP	608	Status: 180 Ringing	

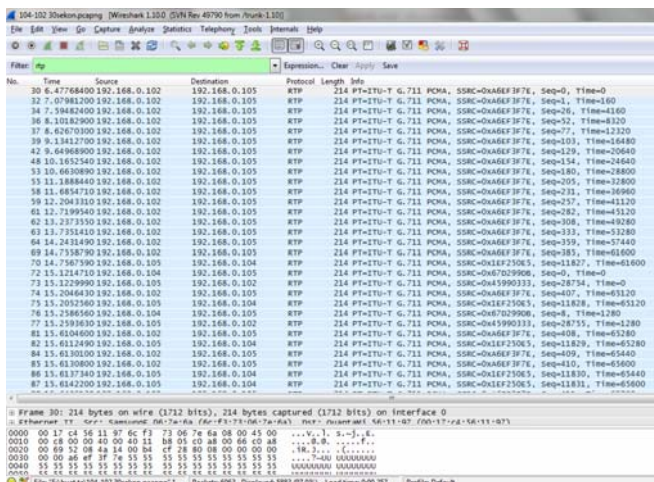


Sinyal ini bertujuan untuk memberikan *alert* kepada pemanggil sebagai respon dari penerima panggilan bahwa sinyal *request* (invite) telah diterima. Jika suatu *call setup* telah sampai pada tahap ini, berarti antara pemanggil dan penerima panggilan telah siap untuk memulai sebuah sesi percakapan.

- 200 OK
- | No.  | Time         | Source        | Destination   |
|--|--------------|---------------|---------------|
| 65   | 14.579013000 | 192.168.0.102 | 192.168.0.105 |
| SIP/SDP 657 Status: 200 OK                                     |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 66   | 14.581030000 | 192.168.0.105 | 192.168.0.102 |
| SIP 456 Request: ACK sip:102@192.168.0.102:59342;transport=udp |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 67   | 14.584685000 | 192.168.0.105 | 192.168.0.104 |
| SIP/SDP 766 Status: 200 OK                                     |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 68   | 14.677571000 | 192.168.0.104 | 192.168.0.105 |
| SIP 434 Request: ACK sip:102@192.168.0.105                     |              |               |               |

Saat penerima panggilan menerima panggilan maka message 200 OK akan dikirimkan oleh penerima panggilan sebagai pemberitahuan pada pemanggil bahwa request telah diterima. pemanggil akan memberikan sinyal ACK sebagai konfirmasi respons 200 OK dan sesi percakapan dapat dimulai.

- Media Path
- | No.   | Time        | Source        | Destination   |
|---|-------------|---------------|---------------|
| 30  | 6.477684000 | 192.168.0.102 | 192.168.0.105 |
| RTP 214 PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA6EF3F7E, Seq=0, Time=0   |             |               |               |
| No.   | Time        | Source        | Destination   |
| 32  | 7.079812000 | 192.168.0.102 | 192.168.0.105 |
| RTP 214 PT=ITU-T G.711 PCMA, SSRC=0xA6EF3F7E, Seq=1, Time=160 |             |               |               |



Gambar 6. Tampilan capture protokol RTP saat proses *voice*

Setelah proses *call setup* berhasil dilakukan dan sesi komunikasi telah dibentuk, maka SIP menggunakan RTP sebagai media untuk fungsi transportasi data (*voice*) yang bersifat *real-time*.

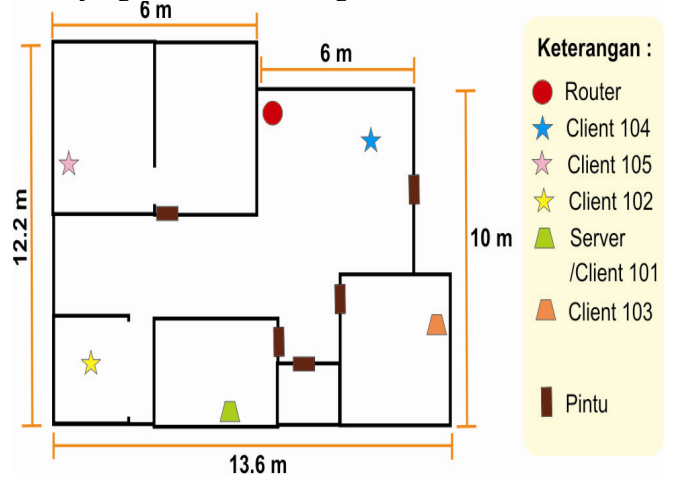
- Call Tear Down
- | No.  | Time         | Source        | Destination   |
|--|--------------|---------------|---------------|
| 6031   | 44.965131000 | 192.168.0.102 | 192.168.0.105 |
| SIP 412 Request: BYE sip:104@192.168.0.105                     |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 6032   | 44.966264000 | 192.168.0.105 | 192.168.0.102 |
| SIP 513 Status: 200 OK   |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 6033   | 44.968182000 | 192.168.0.105 | 192.168.0.104 |
| SIP 375 Request: BYE sip:104@192.168.0.104:47692;transport=udp |              |               |               |
| No.  | Time         | Source        | Destination   |
| 6039   | 45.048471000 | 192.168.0.104 | 192.168.0.105 |
| SIP 333 Status: 200 OK   |              |               |               |

Setelah pembicaraan selesai dilakukan (*hang up call*), maka client 102 yang melakukan terminasi akan mengirimkan sinyal SIP bye untuk memberitahukan bahwa sesi komunikasi telah diakhiri. Sinyal ini akan dibalas oleh *client* 104 dengan mengirimkan respons 200 OK sebagai respon konfirmasi untuk mengakhiri sebuah sesi.

4.2 Pengamatan Keberhasilan Komunikasi  
 Pengamatan Keberhasilan dilakukan 6 kali pengambilan data, yaitu

- Client Samsung Galaxy W mendial client Samsung Galaxy Tab2 dan sebaliknya.
- Client Samsung Galaxy W dan Samsung Galaxy Tab2 mendial client softphone X-Lite dan sebaliknya
- Client Andromax U mendial Samsung Galaxy W dan softphone X-Lite.

Dilakukan 10 kali dialing secara berurutan sampai dapat berkomunikasi dengan client tujuan. Pengamatan dilakukan pada ruangan rumah seperti gambar 4.3 dengan penempatan client yang berbeda-beda ruangan :



Gambar 7. Denah rumah tempat pengamatan dilakukan

Sebelum melakukan pengujian komunikasi, dilakukan terlebih dahulu pengukuran level sinyal Wi-Fi yang diterima oleh client dan server dari wireless router saat melakukan pengamatan :

Tabel 3. Level sinyal Wi-Fi

Client	User Extention	Signal strength (dbm)
Acer Aspire 4530	101	-53 → -64
Samsung Galaxy Tab2	102	-78 → -82
Compaq Presario V3000	103	-52 → -60
Samsung Galaxy W	104	-40 → -44
Andromax U	105	-76 → -80

Tabel 4. Pengamatan dialing client Samsung Galaxy W ke Samsung Galaxy Tab2 dan sebaliknya.

No	S. galaxy tab → S. galaxy w	S. galaxy w → S. galaxy tab
	Sipdroid → Sipdroid 104 → 102	Sipdroid → Sipdroid 102 → 104
1	Berhasil	Berhasil
2	Gagal	Berhasil
3	Berhasil	Gagal
4	Gagal	Gagal
5	Gagal	Berhasil
6	Berhasil	Berhasil
7	Gagal	Berhasil
8	Berhasil	Berhasil
9	Gagal	Berhasil
10	Berhasil	Gagal
	Presentase keberhasilan=50%	Presentase keberhasilan=70%

Dari table 4.2 di atas keberhasilan dialing client Samsung Galaxy W ke Samsung Galaxy Tab2 dan sebaliknya antara 50% s.d 70%, hal ini dikarenakan letak Samsung Galaxy Tab2 letaknya jauh dari wireless router dan terhalang oleh penghalang, sehingga memiliki level sinyal wifi yang rendah mengakibatkan terjadinya kegagalan komunikasi.

Tabel 5. Pengamatan dialing client Samsung Galaxy W ke softphone X-Lite dan sebaliknya

No	S. galaxy w → Laptop acer	Laptop Acer → S. galaxy w
	Sipdroid → softphone X-Lite 104 → 101	softphone X-Lite → Sipdroid 101 → 104
1	Berhasil	Berhasil
2	Berhasil	Berhasil
3	Berhasil	Berhasil
4	Berhasil	Berhasil
5	Berhasil	Berhasil
6	Berhasil	Berhasil
7	Berhasil	Berhasil
8	Berhasil	Berhasil

9	Berhasil	Berhasil
10	Berhasil	Berhasil
	Presentase keberhasilan=100%	Presentase keberhasilan=100%

Dari table 4.3 di atas keberhasilan dialing client Samsung Galaxy W ke Laptop acer 100%, hal ini dikarenakan Samsung Galaxy W dan laptop acer memiliki level sinyal wifi yang tinggi mengakibatkan komunikasi selalu berhasil.

Tabel 6. Pengamatan dialing client Samsung Galaxy Tab2 ke softphone X-Lite dan sebaliknya

No	S. Galaxy Tab → Laptop Acer	Laptop Acer → S. Galaxy Tab
	Sipdroid → softphone X-Lite 102 → 101	softphone X-Lite → Sipdroid 101 → 102
1	Berhasil	Berhasil
2	Gagal	Gagal
3	Berhasil	Berhasil
4	Berhasil	Gagal
5	Berhasil	Berhasil
6	Berhasil	Gagal
7	Gagal	Berhasil
8	Berhasil	Gagal
9	Berhasil	Gagal
10	Gagal	Berhasil
	Presentase keberhasilan=70%	Presentase keberhasilan=50%

Dari table 6. di atas keberhasilan dialing client Samsung Galaxy Tab2 ke Laptop acer dan sebaliknya antara 50% s.d 70%, hal ini dikarenakan letak Samsung Galaxy Tab2 letaknya jauh dari wireless router dan terhalang oleh penghalang, sehingga memiliki level sinyal wifi yang rendah mengakibatkan terjadinya kegagalan komunikasi.

Tabel 7. Pengamatan dialing client Andromax U ke softphone X-Lite dan sebaliknya

No	Andromax u → Laptop acer	Laptop Acer → Andromax u
	Sipdroid → softphone X-Lite 105 → 101	softphone X-Lite → Sipdroid 101 → 105
1	Berhasil	Berhasil
2	Berhasil	Berhasil
3	Berhasil	Berhasil
4	Berhasil	Berhasil
5	Berhasil	Berhasil
6	Berhasil	Berhasil
7	Berhasil	Berhasil
8	Berhasil	Berhasil
9	Berhasil	Berhasil
10	Berhasil	Berhasil
	Presentase keberhasilan=100%	Presentase keberhasilan=100%

Dari table 7. di atas keberhasilan dialing client Andromax u ke Laptop acer 100%, hal ini dikarenakan laptop acer memiliki level sinyal wifi yang tinggi mengakibatkan komunikasi selalu berhasil.

Tabel 8. Pengamatan dialing client Andromax U ke Samsung Galaxy W dan sebaliknya

No	Andromax u → S. galaxy w	S. galaxy w → Andromax u
	Sipdroid → Sipdroid 105 → 104	Sipdroid → Sipdroid 104 → 105
1	Berhasil	Berhasil
2	Berhasil	Berhasil
3	Berhasil	Berhasil
4	Berhasil	Berhasil
5	Berhasil	Berhasil
6	Berhasil	Berhasil
7	Berhasil	Berhasil
8	Berhasil	Berhasil
9	Berhasil	Berhasil
10	Berhasil	Berhasil
	Presentase keberhasilan=100%	Presentase keberhasilan=100%

Dari table 4.6 di atas keberhasilan dialing client Andromax u ke S.galaxy w 100%, hal ini dikarenakan S.galaxy w memiliki level sinyal wifi yang tinggi mengakibatkan komunikasi selalu berhasil.

Dari keseluruhan pengamatan keberhasilan didapat:

- Client Samsung Galaxy Tab2 mengalami beberapa kegagalan dalam melakukan panggilan dan menerima panggilan. Antara client Samsung Galaxy Tab2 dan Andromax U memiliki operating system Android yang sama yaitu jelly bean 4.1.2 namun hasil yang didapat berbeda. Operating system tidak mempengaruhi kinerja aplikasi, Level sinyal Wi-Fi dan spesifikasi hardware smartphone yang berpengaruh dalam perbedaan hasil tersebut.

#### 4.3 Pengamatan Delay Komunikasi

Pengamatan dilakukan dengan menghitung delay suara yang dihasilkan saat mulai berbicara di client awal dan menerima di client tujuan dengan menggunakan stopwatch. Dilakukan 10 kali pengamatan setiap panggilan.

Tabel 9. Percobaan 1, delay saat 2 client melakukan komunikasi

Percobaan 1 Laptop Acer → S. Galaxy W	
No	softphone X-Lite → Samsung Galaxy W
1	0,2 s
2	0,2 s
3	0,2 s
4	0,3 s
5	0,3 s
6	0,2 s
7	0,3 s
8	0,2 s
9	0,3 s
10	0,2 s

Rata-rata	0,24 s
-----------	--------

Tabel 10. Percobaan 2, delay saat 2 client melakukan komunikasi

Percobaan 2 S. Galaxy tab → S. galaxy W	
No	Samsung Galaxy Tab2 → Samsung Galaxy W
1	0,4 s
2	0,4 s
3	0,5 s
4	0,5 s
5	0,4 s
6	0,5 s
7	0,3 s
8	0,3 s
9	0,5 s
10	0,5 s
Rata-rata	0,43 s

Untuk pengamatan 4 client, saat client Samsung Galaxy Tab2 mendial Compaq Presario V3000 , dilakukan pengamatan pada client softphone X-Lite dan Samsung Galaxy W. Begitu pula saat client Samsung Galaxy Tab2 mendial Compaq Presario V3000 dilakukan pengamatan pada Samsung Galaxy Tab2 dan Samsung Galaxy W.

Tabel 11. Percobaan 1, delay saat 4 client melakukan komunikasi

Percobaan 1 Laptop Acer → S. Galaxy W	
No	softphone X-Lite → Samsung Galaxy W
1	0,3 s
2	0,2 s
3	0,2 s
4	0,2 s
5	0,3 s
6	0,2 s
7	0,3 s
8	0,3 s
9	0,2 s
10	0,3 s
Rata-rata	0,25 s

Tabel 12. Percobaan 2, delay saat 4 client melakukan komunikasi

Percobaan 2 S. Galaxy tab → S. galaxy W	
No	Samsung Galaxy Tab2 → Samsung Galaxy W
1	0,4 s
2	0,4 s
3	0,3 s

4	0,4 s
5	0,5 s
6	0,4 s
7	0,4 s
8	0,4 s
9	0,3 s
10	0,5 s
Rata-rata	0,4 s

Dari pengamatan antara 2 client dan 4 client berkomunikasi bersamaan hasil waktu delay rata-rata yang didapat hampir mirip, sehingga kemampuan server Voip (IP PBX) dalam melayani client yang berkomunikasi secara bersamaan cukup handal. Delay komunikasi terbesar yaitu 0,43 s, terjadi ketika komunikasi antara S. Galaxy tab dengan S. galaxy W.

### SIMPULAN

Dari hasil pengujian dapat diambil simpulan sebagai berikut:

- Perancangan jaringan VoIP berbasis asterisk berhasil direalisasikan dalam satu jaringan WLAN, yang penyebarannya terbatas pada kemampuan router meng-cover area/wilayah.
- Komunikasi suara client Samsung Galaxy W dan client Smartfren Andromax U dengan client lainnya (kecuali client S. Galaxy Tab2) memiliki tingkat keberhasilan 100% dari 10 kali pengujian, sedangkan komunikasi suara antara client Samsung Galaxy Tab2 dengan client lainnya (Laptop dan smartphone) memiliki tingkat keberhasilan 50 sampai dengan 70%.
- Penggunaan smartphone Android dengan versi Operating System yang berbeda tidak mempengaruhi kerja aplikasi, karena client Samsung Galaxy Tab2 dan Smartfren Andromax U memiliki OS yang sama. Level sinyal Wi-Fi client saat pengujian juga mempengaruhi kualitas suara dan keberhasilan panggilan. Perbedaan spesifikasi yang dimiliki masing-masing smartphone juga mempengaruhi kerja aplikasi.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ensiklopedia Wikipedia. VoIP. (online), (<http://id.wikipedia.org/wiki/Voip>, diakses 15 Juni 2013)
- [2]. STIMIK AMIKOM. Publikasi\_2705.(online), (<http://repository.amikom.ac.id/index.php/detail/1881/PENGARUH%20SPEECH%20CODEC%20GSM.%20ILBC%20DAN%20PCMU%20PADA%20KUALITAS%20LAYANAN%20VOIP%20DI%20SMK%20SYUBBANUL%20WATHON>, diakses 16 Juni 2013)
- [3]. Simanjuntak, Hakim. 2013. Pengertian VoIP Server.(online), (<http://engineindo.blogspot.com/2013/02/pengertian-voip-server.html>, diakses 16 Juni 2013)
- [4]. Ensiklopedia Wikipedia. G.711. (online), (<http://en.wikipedia.org/wiki/G.711>, diakses 16 Juni 2013)
- [5]. Ozeki. Session Initiation Protocol (SIP). (online), ([http://www.voip-sip-sdk.com/p\\_230-session-initiation-protocol-voip.html](http://www.voip-sip-sdk.com/p_230-session-initiation-protocol-voip.html), diakses 15 Juni 2013)
- [6]. Ensiklopedia Wikipedia. SIP. (online), ([http://en.wikipedia.org/wiki/Session\\_Initiation\\_Protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/Session_Initiation_Protocol), diakses 15 Juni 2013)
- [7]. Ensiklopedia Wikipedia. Wi-Fi. (online), (<http://id.wikipedia.org/wiki/WiFi>, diakses 15 Juni 2013)
- [8]. Indrawan, Rizky. 2011. Penjelasan Tentang Wi-Fi/Wireless Lan. (online),

- (<http://rizkyindrawan.wordpress.com/2010/12/10/penjelasan-tentang-wi-fi-wireless-lan/>, diakses 16 Juni 2013)
- [9]. Antenaku. Perbedaan Modem, Repeater, HUB, Switch, Router, Bridge, Access Point. (online), (<http://antena-ku.blogspot.com/2013/04/perbedaan-modem-repeater-hub-switch.html>, diakses 16 Juni 2013)
- [10]. Virtual PBX. What exactly is a softphone?. (online), (<http://blog.virtualpbx.com/2011/10/27/what-exactly-is-a-softphone/>, diakses 17 Juni 2013)
- [11]. Megellen Van J, Madsen L, Smith J. 2007. *Asterisk The Future of Telephony*. Sebastopol: O Reilly.
- [12]. Safaat, Nazruddin H. 2012. *Pemrograman Aplikasi Mobile Smartphone dan Tablet PC Berbasis Android*. Bandung: Informatika Bandung.
- [13]. Ableson, W.F., Robi, S., King, C. 2011. *Android in Action*, Second Edition. Stamford : Manning Publications Co.
- [14]. A. Spyros, M.Apostolos, L.George, T.Emmanuel and V.Vassilis, 2010, "Design, Implementation and Validation of an Open Source IP-PBX/VOIP Gateway Multi-Core SoC", Int Jur Parallel Prog, Athen, Greece.
- [15]. Duo Xiang and Li-hua Sun, 2011, "The Application of Asterisk-Based IP-PBX System in The Enterprise", Nanchang University, China.
- [16]. Nico Setiawan, Heri Andrianto, Teja Andy Suardi. 2010. "Perancangan dan Realisasi serta Uji Coba Sistem IP-PBX Berbasis Linux". Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi Vol. 1, No.1, Universitas Nurtanio Bandung.
- [17]. Purbo, Onno W. 2007. "Cikal Bakal Telkom Rakyat (Panduan Lengkap Setting VOIP)".
- [18]. Safaat, N. 2012. *Pemrograman Aplikasi Mobile Mobile phone dan Tablet PC Berbasis Android*. Bandung: Informatika.

# Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Atap Gedung Kota Surabaya: Studi Kasus Gedung Perkuliahan

Rasional Sitepu, Albert Gunadhi

*Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya*

**Abstract**—Sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *rooftop* adalah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari selaku sumber energi terbarukan dan atap gedung (*rooftop*) sebagai tempat panel surya. Makalah ini menyajikan hasil kajian tentang potensi pembangkit listrik tenaga surya berbasis atap gedung di kota Surabaya dengan mengambil lokasi pada atap gedung kampus Universitas katolik Widya Mandala Surabaya jalan Kalijudan 37 Surabaya. Kajian dilakukan dengan bantuan software *Pvsyst 6.2.5*. Berdasarkan kajian tersebut diperoleh informasi bahwa potensi energi matahari ada sebesar 1720,5kWh/m2/tahun atau rata-rata sebesar 4,7kWh/m2/hari di kota Surabaya. Sinar matahari yang dapat menghasilkan listrik mulai pada pukul 07.00 -17.00 WIB. Jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan bila panel surya ditempatkan di atas atap gedung dengan luasan 350 m2 ada sebesar 33MWh/tahun, atau rata-rata 2,75 MWh/bulan dengan *performance ratio* sebesar 71%. Ini merupakan potensi yang besar dari sumber energi terbarukan.

**Index Terms**—, Energi Terbarukan, Panel Surya, Sistem Tenaga Listrik, Sistem PLTS

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki cadangan sumber energi baru/terbarukan yang ramah lingkungan dalam jumlah yang cukup besar. Salah satunya adalah sinar matahari. Namun pemanfaatan sumber energi baru/terbarukan tersebut masih relatif kecil. Untuk itu Kementerian ESDM [1], telah membuat target bahwa pada tahun 2025 pemanfaatan energi baru/terbarukan di Indonesia mencapai 25% dari energy mix. Kebijakan tersebut dikenal dengan visi 25/25.

Untuk mendukung perwujudan visi 25/25 maka kajian tentang pemanfaatan energi baru/terbarukan perlu dilakukan. Salah satu kajian itu adalah penerapan teknologi pembangkit listrik tenaga matahari yang dikenal dengan PLTS. Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Riset dan Teknologi telah membuat *roadmap* PLTS secara berkelanjutan untuk periode 2010-2025 melalui tahapan aplikasi *residential, monogrids, specific utilization, building integrated PV, utility and grid* [2] Namun demikian pemanfaatan PLTS masih juga kecil.

Pengguna energi listrik terbesar di Indonesia adalah masyarakat perkotaan. Pengguna tersebut pada umumnya sudah terhubung ke *grid* PLN yang mayoritas sumber energi listriknya adalah energi fosil. Di lingkungan perkotaan terdapat banyak atap gedung (*rooftop*) yang luas dan

kosong. Luasnya atap tersebut memungkinkan untuk menjadi tempat PLTS skala besar sehingga peluang penyediaan listrik yang bersumber energi terbarukan sangat besar di lingkungan perkotaan. Dengan demikian penerapan PLTS system *rooftop grid connected* untuk untuk gedung perkuliahan memungkinkan menjadi alternatif perwujudan visi 25/25.

Menurut Norton [3] efektifitas penerapan PLTS ditentukan oleh berbagai faktor baik internal maupun eksternal. Diantaranya adalah potensi sinar matahari di lokasi PLTS, pola pemakaian energi listrik, aspek teknis dan optimasi, aspek ekonomis dan sosial, serta aspek regulasi. Meskipun terdapat potensi penerapan PLTS sistem *rooftop grid connected* namun informasi akurat terkait aspek-aspek yang dikemukakan Norton,dkk belum tersedia untuk setiap wilayah Indonesia, khususnya Surabaya. Oleh sebab itu kajian mendalam tentang penerapan PLTS *rooftop grid connected* di suatu lokasi seperti di Surabaya sangat perlu dilakukan.

Makalah ini menyajikan hasil kajian tentang potensi pembangkit listrik tenaga surya berbasis atap gedung di kota Surabaya dengan mengambil lokasi pada atap gedung kampus Universitas katolik Widya Mandala Surabaya jalan Kalijudan 37 Surabaya. Kajian dilakukan dengan bantuan software *Pvsyst 6.2.5*.

## II. STUDI LITERATUR

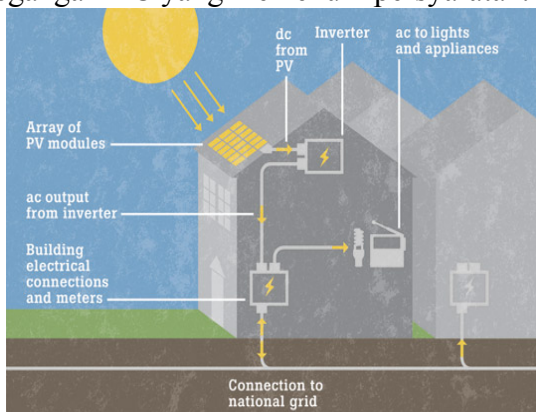
### A. Konsep Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (*Photovoltaic power system*) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi sinar matahari menjadi listrik dengan bantuan solar sel. Hal ini berbeda dengan pembangkit listrik tenaga panas surya yang memanfaatkan panas sinar matahari. Berdasarkan penerapan PLTS oleh para peneliti di berbagai negara, maka Sistem PLTS dapat dibedakan berdasarkan tempat meletakkan panel surya. Ada PLTS dengan panel surya diletakkan di atas permukaan tanah (*solar park*), ada PLTS dengan panel surya diletakkan di atas atap gedung (*rooftop photovoltaic system*). Berdasarkan instalasinya PLTS juga dapat dibedakan menjadi sistem *Off grid* dan *On grid connected*. Perbedaan utama PLTS *off grid* yang dikenal juga dengan sistem *stand alone* dengan *On grid* adalah PLTS *on grid* terhubung ke *grid utility*, dalam hal ini untuk kasus Indonesia terhubung ke jala-jala listrik Perusahaan Listrik negara (PLN), sedangkan PLTS *off grid* berdiri sendiri [4],[5], 6].

Gambar 1 menunjukkan contoh skema Sistem PLTS *rooftop grid connected*. Komponen sistem PLTS *rooftop grid connected* terdiri atas sejumlah panel surya yang tersusun kombinasi seri paralel yang diletakkan di atas atap gedung – yang mengubah sinar matahari menjadi listrik arus searah, inverter – yang mengubah listrik arus searah menjadi listrik bolak balik, dan *balance of system*- yang mengatur agar listrik yang disalurkan memenuhi persyaratan pemilik grid .

Adapun cara kerja dari sistem PLTS *grid connected* sebagai berikut [7].

1. Sinar matahari dikumpulkan oleh panel surya yang dipasang pada atap gedung dengan arah yang memungkinkan mendapat sinar terbesar.
2. Tegangan DC yang dihasilkan panel surya disalurkan ke inverter.
3. Inverter mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC yang memenuhi persyaratan.



Gambar 1. Contoh skema sistem PLTS *rooftop grid connected* [7].

## B. Penerapan dan kajian sistem PLTS *grid connected*

Penerapan sistem PLTS *rooftop grid connected* kapasitas 1 MW atau lebih besar sudah banyak dilakukan di beberapa negara maju maupun di negara Asia. China saat ini sedang membangun PLTS dengan kapasitas 5,8 MW, Singapura telah membangun PLTS kapasitas 142,5 kW [8] Heru Purnomo [9] melaporkan bahwa Indonesia juga telah menerapkan PLTS *grid connected* kapasitas 200kW di Gili Trawangan Nusa Tenggara Timur. Namun untuk kasus Indonesia, penerapan tersebut di daerah pedesaan, bukan perkotaan yang permintaan listriknya relatif besar, serta menggunakan *solar park*.

Berikut ini disampaikan hasil kajian para peneliti tentang PLTS *rooftop grid connected*. Wittkopf, S, dkk [10] melakukan penelitian terhadap PLTS kapasitas 142,5 kW di Singapura selama 18 bulan dan membandingkannya terhadap standar IEC 61724. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa rasio kinerja mencapai 0,81, Efisiensi sistem dan efisiensi panel surya masing-masing 11,2% dan 11,8%. Sementara berdasarkan name plate, efisiensi panel surya 13,7%. Efisiensi inverter 94,8%.

Ayompe, L.M, dkk [11], berdasarkan penelitiannya terhadap PLTS kapasitas 1,72KW di Irlandia melaporkan bahwa radiasi matahari, suhu panel surya pada bulan Maret masing-masing 1241 W/m<sup>2</sup> dan 29-46,9 derajat celsius.

Total energi per tahun yang dapat dihasilkan mencapai 885,1 kWh, dan rata-rata per hari sebesar 2,41kWh. Efisiensi panel surya, sistem keseluruhan, dan inverter masing-masing 14,9%, 12,6%, dan 89,2%. Rasio faktor kerja sebesar 81,5%.

Dalton, G.J., [12] melakukan analisis kelangsungan teknis dan finansial terhadap PLTS yang diterapkan di hotel dengan kapasitas 100 tempat tidur di Queensland Australia. Kriteria analisa menggunakan *Net Present Value (NPV)*, *renewable fraction (RF)*, dan *payback period*.

Mondal, M.A.H, and Islam, A.K.M [13] menganalisa potensi dan viabilitas PLTS di Bangladesh menggunakan *RETScreen* software simulasi. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa potensi daya listrik PLTS system *grid connected* di Bangladesh mencapai 50174 MW, energi listrik per tahun mencapai 1729 MWh. Dari hasil analisa finansial menggunakan indikator *IRR*, *NPV*, *BCR*, *cost energy production*, dan *simple payback* diperoleh bahwa penerapan PLTS *grid connected* bagus untuk dilakukan. Sementara itu emisi gas rumah kaca yang dapat direduksi mencapai 1423 ton/tahun.

Eldhodeiby, A.S., dkk [14] melakukan analisa terhadap PLTS *rooftop grid connected* 3,6 kW di Mesir yang menggunakan panel surya jenis thin film selama setahun. Hasilnya menunjukkan bahwa sinar matahari ada sebesar 5,6 kWh/m<sup>2</sup>/hari, energi yang dapat dihasilkan 15,65 kWh/hari, Efisiensi susunan panel surya 4,22%, efisiensi inverter 94,55%, efisiensi sistem 4,02%, faktor ketersediaan 39%, faktor kapasitas 18,12%, dan menyarankan pentingnya mengkaji aplikasi panel surya jenis thin film.

Mondol dkk., [15] menganalisa kinerja sistem *grid-connected* PLTS 13 kWp yang dibangun di atap rumah tinggal di Northern Ireland, Inggris selama periode 3 tahun. Analisa dilakukan setiap jam, hari dan bulan. Parameter analisisnya meliputi *reference yield*, *array yield*, *final yield*, *array capture losses*, *system losses*, efisiensi dan performansi dari sistem PLTS dan inverter, dan perbandingan performansi, pengaruh isolasi dan pemakaian inverter dalam perhitungan performansi sistem juga telah diikutkan dalam investigasi. Hasilnya menunjukkan rata-rata efisiensi sistem PLTS dan inverter per bulannya ditemukan bervariasi per harinya yaitu 4.5% - 9.2%, 3.6% - 7.8% dan 50% - 87% dalam tiga tahun. Rata-rata efisiensi sistem PLTS dan inverter per tahunnya ditemukan 7.6%, 6.4% dan 75%. Rata-rata perbandingan-performansi tegangan DC dan AC per hari berada dalam range 0.35 - 0.74 dan 0.29 - 0.66. Rata-rata per bulannya perbandingan-performansi AC untuk tiga tahun adalah 0.60, 0.61 dan 0.62.

Braun dkk., [16] melakukan analisa secara simulasi terhadap PLTS 1 MWp sistem *grid-connected* yang diintegrasikan dengan jaringan listrik dalam suatu gedung komersial yang sangat luas di Brazil. Hasil penelitian tersebut mengusulkan suatu metodologi untuk menerapkan sistem *grid-connected* untuk semua jenis gedung dan juga menunjukkan pengaruh penggunaan sistem *grid-connected* dan tanpa *grid-connected* dengan variasi permintaan energi dari gedung yang dianalisa.

Norton, dkk [3] melaporkan bahwa kinerja dari suatu sistem *grid-connected* tergantung pada iklim setempat,

orientasi, kecenderungan susunan dan efisiensi panel surya, karakteristik beban dan kinerja dari inverter, efisiensi dari komponen-komponen *balance of system*, sambungan dengan jaringan listrik yang ada, hambatan rangkaian listrik dan tegangan jatuh pada dioda; bagian bayangan; akumulasi dari kotoran, debu atau salju pada panel.

Dari uraian di atas nampak bahwa karakteristik PLTS *rooftop grid connected* dipengaruhi oleh lokasi, jenis panel surya dan susunannya, kinerja inverter, dan kinerja *balance of system*. Sistem dengan panel surya yang sama belum tentu menghasilkan output yang sama. Para peneliti merekomendasikan perlunya PLTS *grid connected* karena dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Oleh sebab itu kajian mendalam di daerah perkotaan seperti di Surabaya menjadi sangat penting sebelum PLTS *grid connected* diterapkan secara luas.

### III. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan sebagian dari penelitian besar yang terdiri dari 7 aktivitas pokok dengan durasi 3(tiga) tahun. Makalah ini merupakan hasil dari aktivitas pokok 1 sampai 3. Aktivitas 1 mengumpulkan data meteorology pada lokasi penelitian yang meliputi letak dan besarnya energi matahari dalam satuan kWh/m<sup>2</sup>/tahun. Aktivitas 2 mengumpulkan data beban terpasang pada gedung dan besarnya konsumsi energi pada gedung selama setahun terakhir dengan mengumpulkan tagihan rekening listrik dari pihak pemilik gedung. Aktivitas 3 mendesain sistem PLTS untuk kapasitas tertentu dan mensimulasikannya dengan software komputer untuk menghasilkan *bule print* Sistem PLTS tersebut. Simulasi akan dilakukan menggunakan software PVSyst 5.2.5 dengan berpedoman pada data temuan Aktivitas 1 dan 2. Simulasi menghasilkan data faktor teknis maupun ekonomis. Faktor teknis meliputi teknologi yang dapat digunakan besarnya kapasitas PLTS, jumlah panel surya, jumlah Inverter, dan jumlah energi per tahun. Dari factor ekonomis dapat dihasilkan biaya produksi energi listrik per kWh dari sistem tersebut.

### IV. HASIL PENELITIAN

Dari hasil pengumpulan data satelit diperoleh bahwa Kampus UKWMS Jalan Kalijudan 37, yang berada di kota Surabaya, negara Republik Indonesia, dan Wilayah benua Asia mempunyai letak geografi pada 7,2<sup>0</sup> Lintang Selatan, 112,8<sup>0</sup> Bujur Timur, dan pada ketinggian 5 meter di atas permukaan laut, dengan zona waktu GMT+8. Data meteorologi lokasi kampus UKWMS jalanan Kalijudan 37 yang meliputi energi yang dapat dihasilkan per meter persegi, suhu lingkungan rata-rata dapat dilihat pada Tabel 1, dan 2.

**Tabel 1. Data meteorologi kampus Kalijudan setiap jam pada bulan Mei**

Jam	Irradiasi (kWh/m <sup>2</sup> )	Suhu Lingkungan (°C)
05.00	0	27,5
06.00	0	26,9
07.00	131	29,2
08.00	316	30,7
09.00	506	32,3
10.00	667	33,7
11.00	731	34,6
12.00	803	35,7
13.00	725	36,2
14.00	659	36,3
15.00	533	36,2
16.00	328	35,5
17.00	62,8	34,3
18.00	0	33,8

**Tabel 2 .Data meteorologi lokasi kampus UKWMS jalan Kalijudan 37 setahun**

Bulan	Irradiasi (kWh/m <sup>2</sup> )	Suhu Lingkungan (°C)
Januari	130,9	26,6
Februari	109,5	26,9
Maret	146,6	28,1
April	150,5	29,3
Mei	137,6	29,7
Juni	138,2	29,0
Juli	153,3	28,4
Agustus	162,2	28,1
September	162,0	28,4
Oktober	168,9	28,8
November	146,2	28,4
Desember	114,6	27,1
Jumlah Setahun	1720,5	28,2

Atap Gedung D UKWMS kampus Kalijudan menghadap timur, dengan kemiringan 30<sup>0</sup>. Luas atap yang dapat dimanfaatkan sebagai tempat panel surya sebesar 350m<sup>2</sup>. Gedung tersebut digunakan untuk perkuliahan sehingga beban listriknya pada umumnya hanya mesin penyejuk udara, lampu, computer dan LCD proyektor serta pengeras suara.

Berdasarkan data meteorologi dan data gedung maka dapat dirancang sistem PLTS *grid connected* dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak PVSyst 6.2.5. Untuk skenario dasar (VC0) diberikan data input sebagai berikut:

1. Orientasi Panel surya: fixed tilt plane, Tilt = 30<sup>0</sup>, Azimuth= 90<sup>0</sup>.

*Orientation optimalization*= yearly irradiation yield  
Luas area atap yang tersedia : 350m<sup>2</sup>

2. Parameter Panel Surya yang dipakai:

Model : JMP-100 M5-BIPV

Kapasitas : 100 Wp per unit ; Vmpp 16, 9V; Voc = 29,9

V

### 3. Inverter yang dipakai:

Model : 3 KWac Inverter  
 Daya output: 3000 Wp

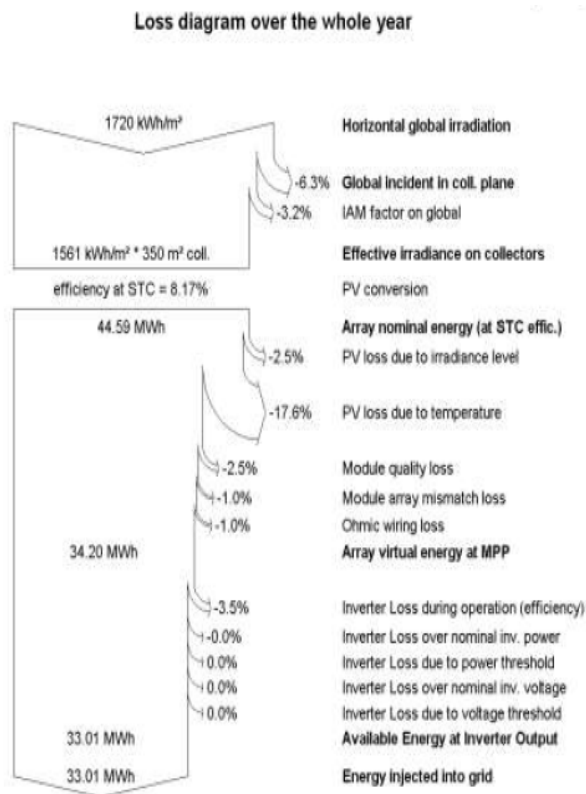
## Hasil Kajian:

### 1. Sistem PLTS yang dihasilkan:

Berdasarkan data di atas maka Sistem PLTS yang dihasilkan terdiri dari 285 unit Panel surya @ 100 Wp dengan susunan 19 MODUL x15 STRING, sehingga menghasilkan daya nominal = 28,4KW , Tegangan Umpp = 344V , dan arus Imp = 71A. Jumlah inverter yang diutuhkan sebanyak 5 unit inverter @4,2 KWac 2 MPPT dengan tegangan output 125-500Volt, dan total daya KW ac.

System PLTS tersebut di atas akan mampu memproduksi energi listrik sebesar 33,01 MWh/tahun dengan specific production 1158kWh/KWp/tahun, performanca ratio (PR) = 71,9%. Dengan demikian besar daya yang dapat diinjeksikan ke jala-jala (grid) sebesar 33,01 MWh/tahun.

Gambar 2 menunjukkan diagram rugi-rugi daya serta efisiensi sistem mulai dari potensi sinar matahari pada alokasi, dan efektifitas irradiasi pada panel surya sampai dihubungkan ke jala-jala.



Gambar 2 Diagram rugi-rugi daya sistem PLTS selama setahun. Sumber: hasil simulasi.

### 2. Evaluasi Ekonomi

Bila diasumsikan harga panel surya 100Wp Rp 2 juta/unit, harga inverter 4,2KW Rp10 juta/unit, dan biaya pemasangan Rp25 juta, maka dibutuhkan biaya investasi sebesar Rp650 juta belum termasuk pajak. Jika diperhitungkan pajak investasi 15% maka total investasi menjadi sebesar Rp 747.500.000. Jika diasumsikan usia

PLTS selama 20 tahun dan biaya investasi berasal dari pinjaman dengan bunga 5% per tahun maka akan diperoleh biaya keseluruhan sebesar Rp 59.981.334 per tahun. Dengan demikian jika jumlah energi yang dapat diproduksi sebesar 33,0 MWh pertahun maka biaya produksi energi menjadi Rp 1.817/KWh.. Harga ini

## V. PENUTUP

Makalah ini telah memaparkan kajian simulasi suatu sistem PLTS pada kota Surabaya, tepatnya pada lokasi kampus UKWMS Kalijudan 37. Pada lokasi tersebut terdapat potensi energi matahari sebesar 1720,5kWh/m<sup>2</sup>/tahun atau rata-rata sebesar 4,7kWh/m<sup>2</sup>/hari. Jika dikonversi ke listrik dengan panel surya maka atap gedung D kampus UKWMS berpotensi sebagai tempat PLTS dengan kapasitas 33MWh/tahun, dan langsung dihubungkan ke jala-jala (grid). Sistem tersebut terdiri dari 285 unit panel surya @100Wp dan 5 unit Inverter AC @4,2KW. Biaya untuk memproduksi energinya sebesar Rp1.817/KWh dengan asumsi biaya investasi berasal dari dana pinjaman yang bunganya 5% per tahun

Informasi dalam penelitian ini masih menggunakan skenario dasar. Untuk itu perlu dikaji lebih lanjut dengan menggunakan berbagai jenis teknologi panel surya, dan Inverter.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terselenggara karena adanya dukungan dana dari Universitas katolik Widya Mandala Surabaya. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pimpinan Universitas dan seluruh jajarannya. Terima kasih juga kepada mahasiswa Christian Oei mahasiswa JTE UKWMS yang telah ikut dalam pengumpulan data demi selesainya penelitian ini. Tuhan Yang Maha Esa kiranya membalas segala cinta kasih yang telah diberikan kepada saya

## REFERENCES

- [1] ESDM (2010), Siaran Pers Nomor: 57/Humas Kesdm/2010 tanggal 02 November 2010: Sarasehan Energi baru terbaru untuk mewujudkan visi energi 25/25, <http://www.esdm.go.id/siaran-pers/55-siaran-pers/3802-serasehan-ebt-untuk-mewujudkan-visi-energi-2525.html>, diakses tanggal 15 Maret 2013
- [2] Kemenristek, (2006), INDONESIA 2005-2025 BUKU PUTIH: Penelitian Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan terbaru untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi tahun 2025, kementerian Negara Riset dan teknologi Republik Indonesia
- [3] Norton B.,; Eamas, P,C.; Mallick, T,K.; Huang , M,J.; McCormack, S,J.; Mondol J,D.; Yahanis, Y,G.; (2011), Enhancing the performance of building integrated photovoltaics, *Solar Energy* 85, 1629-1664,
- [4] Acquaviva V; Poggi, P; Muselli, M.; Louche, A.,(2000), Grid-connected rooftop PV systems for reducing voltage drops at the end of the feeder—a case study in Corsica Island, *Energy* 25, Issue 8, 741-7563,
- [5] Shaahid, S,M, (2011), Review of research on autonomous wind farms and solar parks and their feasibility for commercial loads in hot regions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, Issue 8, 3877-3887
- [6] Lee, Bruno; Trcka Marija; Hensen, Jan L,M., (2012), Rooftop photovoltaic (PV) systems for industrial halls: Achieving economic



- benefit via lowering energy demand, *Frontiers of Architectural Research* 15, Issue 4, 326-333
- [7] Ashden, (2013), Grid-connected solar systems, <http://www.ashden.org/solar-grid>, diakses tanggal 10 Maret 2013,
- [8] Wittkopf, Stephen; Valliappan, Selvam; Liu, Lingyun; Ang, KianS; Cheng, S,H,J; (2012), Analytical performance monitoring of a 142,5 kW, grid-connected rooftop BIPV system in Singapore, *Renewable Energy* 74, 9-20
- [9] Purnomo Heru, Meysuhadi Dadi, (2011), PLTS On Grid 200kWp Gili Trawangan, [http://www.len.co.id/len\\_web/artikel\\_detail/?mQ%3D%3D](http://www.len.co.id/len_web/artikel_detail/?mQ%3D%3D), diakses tanggal 15 Maret 2013
- [10] Ayompe L,M,; Duffy A,; McCormack S,J,; Conlon M,,(2011) Measured performance of 1,72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland, *Energy Conversion and Management*, 15, 816-825,
- [11] Dalton G,J,; Lockington D,A,; Baldock, T,E,, (2009), Feasibility analysis of renewable energy supply options for a grid-connected large hotel, *Renewable Energy*, 34, Issue 4, 955-964,
- [12] Mondal, Md, Alam Hossain; Islam, A,K,M, Sadrul, (2011), Potentia and viability off grid connected solar PV system in Bangladesh, *Renewable Energy* 36, Issue 6, 1869-1874,
- [13] Elhodeiby, A,S,; Metwally, H,M,B; Farahat,M,A,, (2011), Performance analysis of 3,6 kw rooftop grid connected photovoltaic system in Egypt, *International Conference on Energy Systems and Technologies (ICEST 2011)*: 151-157,
- [14] Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2006). Optimal sizing of array and inverter for grid-connected photovoltaic systems. *Solar Energy*, 80(12), 1517-1539.
- [15] Braun, P., & R  ther, R. (2010). The role of grid-connected, building-integrated photovoltaic generation in commercial building energy and power loads in a warm and sunny climate. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2457-2466.
- [16] Eltawil M,A,; Zhao Z,, (2010) Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, Issue 1, 112-129,

# Analisa Denyut Nadi Dengan Memanfaatkan Bentuk *Pulse Wave* Untuk Indikasi Awal Penyakit Diabetes

Rocky Alfanz<sup>1</sup>, Muhammad Fahlevi Firdaus<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten ,  
Email: alfanz81@yahoo.com

<sup>2</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon ,  
Email: levi.vendetta@gmail.com

**Abstrak**—Aliran darah pada tubuh manusia yang membawa zat-zat nutrisi dan suplai oksigen sangatlah penting untuk metabolisme tubuh manusia. Glukosa dalam darah yang diatas ambang normal menyebabkan seseorang mengalami gejala diabetes. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat untuk indikasi awal penyakit diabetes dalam tubuh pasien. penggunaan sensor *reflektif* CNY70 digunakan untuk merekam gelombang *pulse wave* menggunakan metode PPG (*photoplethysmography*) dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dan *interface* hasilnya menggunakan Processing. Pengujian dilakukan pada pasien yang berpenyakit diabetes dan pasien normal.

**Kata Kunci** : aliran darah, diabetes, *plestymography*, arduino UNO, Processing

## I. PENDAHULUAN

Pada tubuh manusia, darah mengalir ke seluruh bagian tubuh secara terus-menerus untuk menjamin suplai oksigen dan zat-zat nutrisi yang akan di proses oleh organ-organ tubuh setelah itu dialirkan melalui aliran darah. Aliran darah ke seluruh tubuh dapat berjalan akibat adanya pemompa utama yaitu jantung dan system pembuluh darah sebagai alat pengalir/distribusi. Bidang kedokteran salah satu hal yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisa penyakit dalam tubuh manusia dengan memeriksakan darah yang diambil dari tubuh pasien. Namun, cara ini diharuskan bagi kita untuk ke rumah sakit, guna pengambilan sample darah tersebut. hal ini memakan biaya yang tidak sedikit serta tidak efisien jika dibutuhkan dalam keadaan darurat. Pada penelitian ini akan dianalisa melalui bentuk gelombang denyut nadi, untuk mengklasifikasikan jenis penyakit yang dialami pasien.

Pada penelitian kali ini kita akan memvisualisasikan tampilan dari denyut nadi di ujung jari, berdasarkan dari penelitian sebelumnya oleh *Manimegalai.P* dan *Dr. K. Thanushkodi* yang berjudul *Analyze of Pulse Wave to Determine The Cardiac Risk Of The Patient*. Pada penelitian ini dijelaskan tentang bentuk gelombang antara pasien normal dengan abnormal melalui denyut nadi tersebut.

Pada penelitian ini, akan dilakukan penganalisaan bentuk *Pulse Wave Velocity* sehingga diklasifikasikan beragam penyakit pada tubuh pasien. Sehingga pemeriksaan penyakit menjadi lebih efisien dan lebih menghemat waktu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

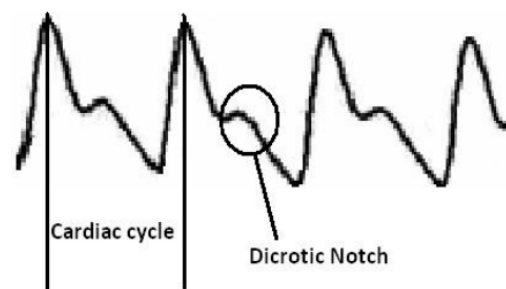
### A. Aliran Darah Manusia

Aliran darah manusia merupakan suatu sistem transportasi yang terjadi di dalam tubuh manusia yang

berfungsi untuk mengedarkan oksigen serta zat makanan ke seluruh lapisan sel tubuh manusia serta dapat juga mengangkut karbon dioksida dan zat sisa ke dalam suatu organ pengeluaran. Aliran darah pada manusia terdiri dari dua yaitu aliran darah besar dan kecil. Aliran darah besar mengalir dari jantung ke seluruh tubuh sedangkan aliran darah kecil mengalir dari jantung ke paru-paru. Aliran darah yang mengalir dapat tersumbat akibat plak yang mengendap di pembuluh arteri. Plak ini terdiri dari kolesterol yang terkandung berlebihan dalam darah. Sumbatan tersebut mengakibatkan tubuh kekurangan zat makanan dan tubuh sulit mengeluarkan karbon dioksida dan zat sisa untuk dikeluarkan. Apabila sumbatan tersebut semakin besar yang terjadi adalah tubuh menderita penyakit hipertensi (tekanan darah tinggi) akibat dari melebarnya pembuluh darah arteri, lalu jantung akibat terlalu kerasnya bekerja, dan stroke akibat dari kurangnya oksigen yang mengalir ke otak.

### B. Metode PPG (*Photoplethysmography*)

PPG (*Photoplethysmography*) adalah sebuah metode physiological yang menampilkan bentuk gelombang dari aliran darah dalam arteri atau nadi.



Gambar 1. Bentuk Gelombang PPG Menampilkan Bentuk Aliran dalam Darah

PPG memiliki informasi tentang bentuk, tinggi dan waktu gelombang, yang memiliki ciri khas puncak gelombang kedua tiap periodenya yang disebut “Dicrotic Notch”. Sedangkan jantung yang memompa darah melalui arteri ke seluruh tubuh dengan ritme tertentu disebut “Cardiac Cycle”. Hasil output gelombang kemudian dianalisa menggunakan metode PPG untuk melihat perbedaan bentuk gelombang antara pasien normal dengan yang berpenyakit diabetes.

### C. Sensor

Sensor adalah elemen yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, sinar, dan kimia menjadi tegangan dan arus listrik. Sensor yang digunakan dalam

medis memiliki tiga jenis yaitu *ultrasound sensor*, *pressure sensor*, dan *infrared sensor*. Saat mengukur tekanan darah menggunakan sensor yang digunakan adalah yang dapat mengubah energi tekanan menjadi energi listrik yang dapat dimasukkan dalam sebuah rangkaian untuk memungkinkan pengukuran tekanan relatif. Beberapa sensor yang digunakan dalam medis adalah *piezo electric crystal* yang mengubah energi tekanan menjadi energi listrik, *strain-gauge* adalah mengubah energi regangan menjadi energi listrik, dan *photo-diode* adalah sensor peka cahaya (*photodetector*) yang akan mengalirkan mengalirkan arus yang membentuk fungsi linear terhadap intensitas cahaya yang diterima.

### III. METODOLOGI

#### A. Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Dalam perancangan perangkat keras (*hardware*) ini beberapa komponen atau rangkaian yang dibutuhkan untuk membangun sebuah sistem yang dirancang untuk membangun sebuah sistem yang dirancang secara keseluruhan, meliputi: sistem minimum mikrokontroler Arduino UNO, rangkaian antarmuka (*interface*) dengan PC, dan rangkaian pengondisi sinyal yang terdiri dari filter dan amplifier

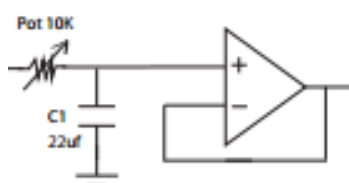
#### B. Sistem Minimum Mikrokontroler ATMEGA 16

Sebagai dasar dari perangkat *alat ukur* ini, terlebih dahulu harus dibuat sistem minimum sebagai pusat kendali dari seluruh sistem yang ada. Pada Arduino UNO berhubungan dengan PC (*personal computer*) melalui komunikasi port USB. Mikrokontroler *running* dengan kristal 16 MHz sebagai sumber detak (*clock*) yang terhubung pada pin 12 (XTAL 1) dan pin 13 (XTAL 2) untuk memastikan komunikasi data serial berjalan dengan sempurna. Rangkaian *reset* pada sistem minimum, berfungsi untuk *me-reset* program pada mikrokontroler ATMEGA16, yang diperoleh dengan prinsip menghubungkan pin *reset* mikrokontroler (pin 9) dengan logika 1 (high) atau 5 V. Dalam sistem minimum ini rangkaian *reset* ditambah dengan *push-button switch* agar pemakai dapat melakukan *reset* secara manual.

Pada penelitian ini, fungsi utama rangkaian sistem minimum adalah sebagai pengolah ADC, dengan memanfaatkan ADC internal pada mikrokontroler ATMEGA16 yang terdapat pada port A. ADC internal pada mikrokontroler ATMEGA16 digunakan untuk mengubah sinyal analog yang diterima dari *signal conditioning*, agar dapat diubah menjadi sinyal digital dan dapat dikirimkan ke PC dengan komunikasi serial oleh mikrokontroler.

#### C. Rangkaian Filter dan Amplifier

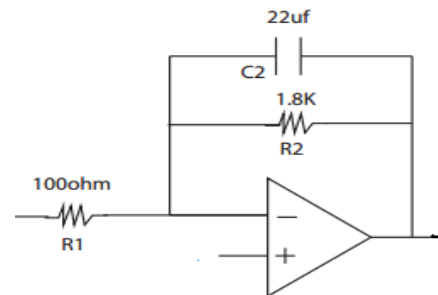
Rangkaian filter ini berfungsi menyaring sinyal dari Sensor CNY70, sehingga tegangan noise dari sensor tersebut dapat dihilangkan. Hasil penyaringan tersebut akan didapatkan tegangan output ADC internal yang lebih stabil dari mikrokontroler Arduino UNO



Gambar 2 Rangkaian Filter

Rangkaian filter yang dirancang adalah Sambungan sensor CNY70 yang terlalu panjang dapat meningkatkan *noise* karena pengaruh hambatan jenis konduktor dan sebagainya. Selain itu *output* dari sensor CNY70 merupakan sinyal berfrekuensi rendah yang pada dasarnya terdapat *noise* hasil konversi ke suhu. Sehingga perlu dipasang sebuah *filter* untuk menghilangkan sinyal frekuensi tinggi yang tidak lain adalah *noise*. R1 dan C1 adalah komponen penyusun *low-pass filter* yang memiliki frekuensi *cut-off* sekitar 1Hz. R1 yang digunakan berkisar ukuran 5k ohm. Rangkaian *filter* ini akan meloloskan sinyal dengan frekuensi dibawah 1Hz.

$$f_c = \frac{1}{2(3.14) \times R \times C}$$



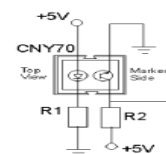
Gambar 3. Rangkaian Amplifier

Sedangkan, amplifier pada gambar 3 berfungsi sebagai penguat sinyal output yang dihasilkan sensor CNY70. Sinyal yang dihasilkan dari sensor CNY70 sangat kecil, sehingga untuk dapat diidentifikasi perbedaan gelombang antara pulse wave pasien normal dengan pasien berpenyakit perlu adanya penguatan sinyal yang dapat meningkatkan sinyal output dari sensor.

$$Gain = \left(1 + \frac{R2}{R1}\right)$$

#### D. Rangkaian Sensor Reflektif CNY70

Rangkaian sensor reflektif tipe CNY70 mempunyai R1 sebesar 100 ohm yang terhubung oleh katoda dari dioda *infrared emitter* dan ground dan mempunyai R2 sebesar 22k ohm yang terhubung oleh kolektor, Vcc, dan keluaran dari sensor.



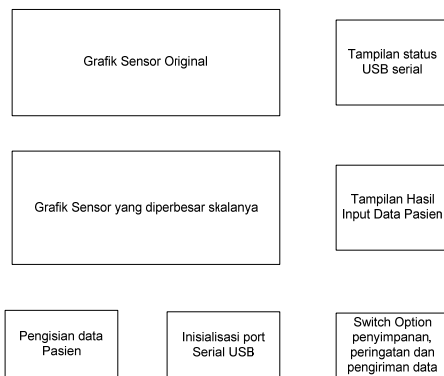
Gambar 4 Rangkaian Sensor CNY70

#### E. Perancangan Perangkat Lunak

Pada perancangan perangkat lunak pemrograman *interface* menggunakan software Labview 2009 sebagai *interface user* dan penampil hasil pengukuran kecepatan aliran darah. Sedangkan untuk program *compiler* mikrokontroler menggunakan bantuan *software Code Vision AVR* yang menggunakan bahasa C dalam pemrogramannya untuk mendownload programnya menggunakan *software AVR OSP II*.

### E.1 Perancangan User Interface

User interface merupakan suatu front panel dimana user dapat berhubungan dengan program tanpa mengetahui kerumitan program itu sendiri. User interface dibuat user-friendly dimana front panel seperti panel kontrol yang menyerupai instrumen sebenarnya.



Gambar 5 Perencanaan user interface

Program yang dibuat untuk melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Inisialisasi port komunikasi USB sebagai input sensor CNY70
2. Membaca data dari sensor CNY70
3. Menampilkan penyajian data sensor dalam bentuk grafik
4. Menampilkan penyajian data sensor kecepatan denyut dalam 1 menit
5. Menyimpan data bentuk gelombang ke dalam Microsoft excel
6. Mengatur tombol peringatan apabila gambar gelombang melebihi dari layar yang telah disediakan
7. Memasukkan data nama pasien, nama dokter, nomor register pasien, serta nomor induk pengambilan data

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil

Penelitian gelombang denyut nadi manusia dalam alat *pulse wave detector* ini, memanfaatkan sinar *infrared* dari sensor CNY70 sebagai media untuk melihat pergerakan aliran darah dalam tubuh manusia. Bentuk *pulse wave* dari denyut nadi tersebut akan dilihat untuk mengetahui penyakit dalam tubuh manusia. Hasil *output* sensor yang memiliki sinyal sangat lemah diproses oleh *filter* dan *amplifier*. Kemudian, hasil *output* tersebut kemudian diproses lagi oleh mikrokontroler Arduino UNO diubah menjadi bilangan ADC. Hasil *output* dari mikrokontroler ditampilkan dalam bentuk gelombang di *computer* melalui *Processing*.

### B. Pengujian rangkaian sensor

Hasil yang telah diujikan didapatkan output masing-masing pengujian memiliki nilai tegangan output yang bervariasi. Pengujian dalam keadaan terang memiliki output tegangan yang lebih besar dibandingkan saat keadaan gelap dan terpasang di jari. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1 yang telah diujikan sebanyak 5 kali. Pengujian output tegangan sensor menggunakan osiloskop digital dengan volts/div sebesar 50 mV dan time/div sebesar 500 ms. Hasil pengujian yang dimasukkan kedalam tabel merupakan tegangan output terbesar, dikarenakan hasil output yang selalu berubah-ubah.

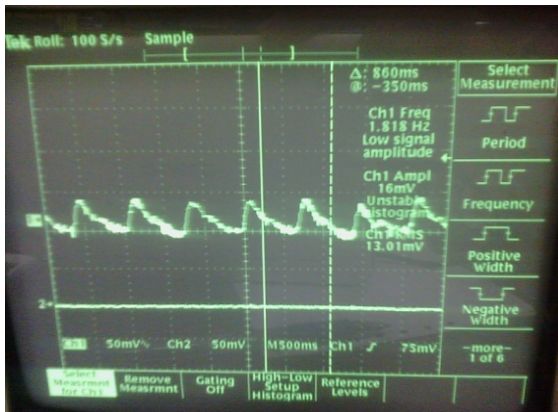
TABLE I Hasil Pengujian Sensor

Pengujian Kalibrasi Output Sensor	Posisi Sensor	Tegangan Output sensor dalam mV
1	Dalam Keadaan Gelap	7,148
	Dalam Keadaan Terang	49,99
	Terpasang Di Jari	13,01
2	Dalam Keadaan Gelap	10,07
	Dalam Keadaan Terang	57,22
	Terpasang Di Jari	11,78
3	Dalam Keadaan Gelap	9,34
	Dalam Keadaan Terang	54,62
	Terpasang Di Jari	14,5
4	Dalam Keadaan Gelap	8,23
	Dalam Keadaan Terang	53,24
	Terpasang Di Jari	12,49
5	Dalam Keadaan Gelap	9,77
	Dalam Keadaan Terang	55,3
	Terpasang Di Jari	11,56

### C. Pengujian Filter dan Amplifier

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif pengaruh *filter* dan *amplifier* yang dirancang. Dari pengujian ini akan diketahui berapa besar penguatan sinyal yang dihasilkan oleh rangkaian filter dan amplifier ini. *Filter* yang dirancang pada rangkaian ini memiliki frekuensi *cut-off* 1 Hertz. Frekuensi *cut-off* 1 hertz yang dimaksud adalah frekuensi yang dihilangkan saat frekuensi yang dihasilkan sensor melebihi 1 hertz. Amplifier yang dirancang untuk menguatkan tegangan output sensor yang sangat lemah, sehingga tegangan output yang dihasilkan lebih besar dan bentuk gelombang dapat terlihat dengan baik.

Pengujian menggunakan osiloskop digital dengan volts/div sebesar 50 mV dan time/div sebesar 500 ms. Hasil yang didapat sebelum menggunakan filter dan amplifier akan dibandingkan dengan sesudah menggunakan filter dan amplifier. Pengujian dilakukan dalam 3 tahap, yaitu pada saat gelap, terang, dan saat terpasang di jari.



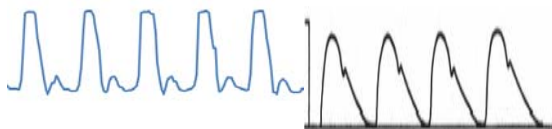
Gambar. 6 Bentuk gelombang sebelum difilter dan amplifier

#### D. Pengujian Pulse wave pada manusia

Penelitian ini dilakukan untuk menguji bentuk *pulse wave* pada manusia normal dan yang memiliki penyakit dengan cara perbandingan bentuk gelombang melalui percobaan yang sudah dilakukan. Pengujian ini dilakukan pada manusia yang sehat atau normal dengan manusia yang memiliki penyakit sebagai contoh penyakit diabetes.

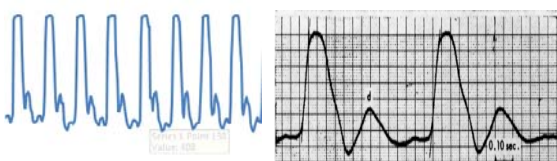
##### D.1. Pengujian Pulse wave Pada Pasien Normal

Pengujian ini dilakukan untuk melihat bentuk gelombang dari pasien normal atau tidak berpenyakit diabetes. Sampel dilakukan dengan mengambil data *pulse wave* pada ujung jari dalam keadaan rileks selama 15 menit. Setelah itu pengambilan data bisa diambil saat sensor sudah terpasang di tangan dan bentuk pulse gelombang sudah sama tinggi. Perekaman gambar *pulse wave* dilakukan selama 5 detik, kemudian hasil dari rekaman tersebut disimpan dalam bentuk Microsoft Excel.



Gambar 7. Perbandingan Bentuk Gelombang Pasien Normal (pengujian 1)

Hasil dari pengujian pada gambar 7 dapat dilihat perbandingan bentuk gelombang pasien normal menggunakan alat *pulse wave detector* dengan bentuk gelombang berdasarkan berdasarkan jurnal penelitian Zhaopeng Fang, Gong Zhang, dan Simon Lhao dari University of Winnipeg, Canada. Pada pengujian 2 akan dilakukan hal yang sama untuk pengujian bentuk pulse orang normal dengan pengambilan sampel data sama seperti yang dilakukan pada pengujian pertama.

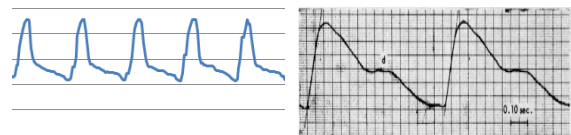


Gambar 8 Perbandingan Bentuk Gelombang Pasien Normal (pengujian 2)

Pada pengujian ke-2 merupakan perbandingan bentuk gelombang berdasarkan jurnal penelitian American Heart Association (sebelah kanan) dan hasil pengambilan data dari alat *pulse wave detector* (sebelah kiri). Dapat dilihat secara jelas bentuk kedua gelombang identik, sehingga dapat dikatakan pasien yang diambil sampel denyut nadinya memang pasien normal.

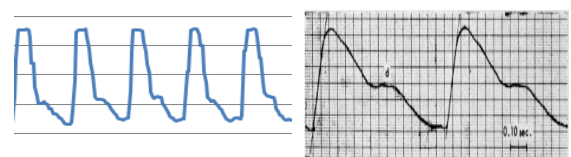
##### D.2. Pengujian Pulse wave Pada Pasien Diabetes

Pengujian ini dilakukan dengan melihat bentuk gelombang dari pasien diabetes. Pasien yang diambil datanya memiliki penyakit diabetes menurut hasil Laboratorium yang dilakukan di Rumah Sakit Mayapada. Pengujian dilakukan dengan pasien dalam keadaan rileks selama 15 menit dan pengambilan data sensor dipasang di ujung jari. Untuk perekaman data diambil saat tinggi *pulse wave* sama dan saat perekaman data diambil selama 5 detik. Hasil rekaman data disimpan kedalam format .xls Microsoft excel. Hasil tersebut akan dibandingkan dengan hasil penelitian dari jurnal G.L.Woolam, P.L.Schnur, C. Vallbona dan H.E.Hoff.



Gambar 9 Perbandingan Bentuk Gelombang Pasien Diabetes (pengujian 1)

Pada pengujian pertama ini dapat dilihat output dari alat *pulse wave detector* (sebelah kiri) dan berdasarkan dari jurnal G.L.Woolam, P.L.Schnur, C. Vallbona dan H.E.Hoff (sebelah kiri). Kemudian dilakukan pengujian ke-2 untuk mengetahui keakuratan hasil pengambilan data melalui alat *pulse wave detector* ini.



Gambar 10. Perbandingan Bentuk Gelombang Pasien Diabetes (pengujian 2)

Dapat dilihat pada perbandingan 2 gelombang pada gambar 10, bentuk *pulse wave* orang berpenyakit diabetes identik, sehingga penggunaan *pulse wave detector* dapat disesuaikan untuk meneliti penyakit diabetes dalam darah pasien.

##### D.3. Pengujian Pulse wave Pada Pasien Secara Acak

Pada pengujian pulse wave secara acak, akan diambil sample secara acak sebanyak 10 orang. Pengujian ini dilakukan untuk menguji seberapa akurat alat *pulse wave detector* untuk melihat penyakit diabetes dalam darah manusia. Hasil yang didapat kemudian pasien akan ditanyakan pertanyaan tentang gejala-gejala yang dialami penderita diabetes. Setelah dilakukam penujian secara acak didapat hasil 8 pasien normal, 2 pasien diduga mengalami gejala diabetes. Dengan hasil yang didapat pada tabel I

Pasien	Gejala			Hasil Pengujian Pulse wave Detector	Kesimpulan
	1	2	3		
1	-	-	-	-	Normal
2	+	+	+	+	Gejala diabetes
3	-	-	-	-	Normal
4	-	-	-	-	Normal
5	-	-	-	-	Normal
6	-	-	-	-	Normal
7	-	-	-	-	Normal
8	-	-	-	-	Normal
9	+	+	+	+	Gejala diabetes
10	-	-	-	-	Normal

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pembuatan sistem alat pendeteksi denyut nadi untuk indikasi awal penyakit diabetes yang dilanjutkan dengan melakukan pengujian, pengukuran, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang dilakukan perbedaan utama bentuk gelombang pulsa, antara pasien normal dan berpenyakit diabetes berdasarkan metode PPG (*Photoplethysmograph*) dapat dilihat dari tampilan gelombang dicrotic notch pada gelombang pulsa pasien. Apabila ada tampilan gelombang pulsa dicrotic notch pada denyut nadi pasien maka pasien tersebut normal. Sedangkan, gelombang pulsa pasien yang tidak tampak dicrotic notch, pasien tersebut memiliki penyakit diabetes.
2. Pengambilan data sampling 10 pasien secara acak didapatkan hasil 8 pasien normal dan 2 pasien berpenyakit diabetes.
3. Hasil pengujian direkam dan disimpan datanya dalam bentuk bilangan ADC format .xls yang bisa diakses melalui Microsoft excel
4. Besar penguatan amplifier adalah 19 kali masukan sensor, sedangkan *low-pass filter* yang digunakan memiliki frekuensi *cut-off* sebesar 1,44 hertz

### B. Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk identifikasi penyakit diabetes tidak melalui PC atau computer lagi tetapi bisa diakses di mobile phone dengan transfer data melalui *Bluetooth* atau *wireless*.
2. Untuk mendapatkan hasil grafik pengujian yang lebih baik, diharapkan mengganti sensor yang memiliki sensitifitas yang lebih tinggi untuk membaca denyut nadi.

3. Penggunaan pengolahan citra pada grafik ini diharapkan bisa diakses dengan identifikasi oleh

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alfan, Rocky. (2011). *Design Instrument Pulse Wave Velocity*. Taipei : National Taiwan University Science and Technology.
- [2]. Artanto, Dian. (2009). Perancangan Alat CT-Scan menggunakan Labview. Prosiding SENTIA Politeknik Negeri Malang
- [3]. Athlum University. (2010). *Sensor and Actuator*. Departement Of Mechantronic Engineering.
- [4]. Hasegawa, Hideyuki. (1997). *Evaluation of Elastic Property of the Arterial Wall by Measuring Small Velocity Signals Using Ultrasound*. Tokyo. IEEE.
- [5]. Heryanto, Ary & Adi Wisnu. (2008). *Pemrograman Bahasa C untuk Mikrokontroler ATmega8535*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- [6]. Hsien-Tsai Wu. (2006). *A Bio Signal Processing System for Pulse Wave Velocity Detection*. Taiwan: San Juan
- [7]. J., McLaughlin., & M, McNeil. (2003). *Piezoelectric sensor determination of arterial pulse wave velocity*. Chicago: IOP Publishing Ltd
- [8]. J., M. Zhang., & Wei, P. (2008). *A LabVIEW Based Measure System for Pulse Wave Transit Time*. Shenzen: IEEE
- [9]. Malvino. (2003). *Prinsip-Prinsip Elektronika*. Terjemah Joko Susanto. Depok: Salemba Teknik.
- [10]. Pratama, Anggit. (2009). *Aplikasi LabVIEW Sebagai Pengukur Kadar Vitamin C Dalam Larutan Menggunakan Metode Titrasi Iodimetri*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang.
- [11]. Richard, Blocher. (2004). *Dasar Elektronika*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [12]. Yu, Chuanxiang., He Wei., & Dongping Xiao. (2005). *Noninvasive Measurement and Evaluation of Arterial Stiffness*. Shanghai: IEEE
- [13]. Maneejiraprakarn., Narongrit., Phakakorn Panpho., Phattharamanat Maneejiraprakarn., Paramote Wardkein., (2008). *The Portable Instrument For Peripheral Vascular Diseases Detection*. Bangkok: Thai BME.org

# MOULD LEVEL CONTROL PADA CONTINUOUS CASTING MACHINE

Siswo Wardoyo<sup>1</sup>, Yulie Rachmadita<sup>2</sup>, Freddy Kurniawan<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

<sup>3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto Yogyakarta, Indonesia

*siswo@ft-untirta.ac.id*<sup>1</sup>

*yulierachmadita@yahoo.co.id*<sup>2</sup>

*freddykurniawan@yahoo.com*<sup>3</sup>

**Abstrak**—Continuous casting machine merupakan mesin pencetak baja cair menjadi baja slab yang secara kontinu mencetak baja pada proses produksi. Pengendalian level baja cair perlu diatur karena berpengaruh pada kecepatan proses pencetakan baja. Level baja pada mould disesuaikan dengan set point yang telah ditentukan, tidak lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai set point karena dapat terjadi kerusakan pada produksi baja slab. Banyaknya baja cair yang masuk pada mould ditentukan oleh pengaturan pada stopper (slide gate) tundish yang mendapat perintah dari PLC Interstop. Set point level baja dapat ditentukan dengan terpasangnya sensor EMLI (Electromagnetic level indicator) pada mould yang memberi informasi level ke PLC. EMLI merupakan sensor pengendalian level baja pada mould yang memanfaatkan sifat elektromagnetik pada baja cair. EMLI dikendalikan menggunakan kendali parameter PID. Pengaturan level baja cair pada mould menggunakan penggabungan sistem pada VIC (Variable Inductance Conditioner), valve hidrolik, sensor EMLI, PLC Interstop, dan HMI (Human Machine Interface).

**Kata kunci:** Continuous casting machine, Mould, EMLI, level.

## I. PENDAHULUAN

*Slab steel plant* mempunyai mesin pencetak baja secara kontinu. Proses ini merupakan pengecoran secara kontinu baja cair yang berasal dari bahan-bahan baku, yang telah dilebur dan kemudian siap dicetak menjadi baja slab. Baja cair terus mengalir pada *mould* (wadah pencetak baja) untuk terus dicetak secara terus menerus sehingga produksi dapat berlanjut. Pengendalian dalam pengaturan level baja cair pada *mould* perlu diatur karena berpengaruh pada kecepatan proses pencetakan.

Level baja disesuaikan dengan set point yang telah ditentukan, tidak lebih tinggi atau lebih rendah dari nilai set point karena dapat terjadi kerusakan pada produksi baja slab apabila hal itu terjadi. *Set point level* baja dapat ditentukan dengan terpasangnya sensor EMLI (*Electromagnetic level indicator*) pada *mould* yang member informasi level pada operator. EMLI dikendalikan dengan parameter kendali PID, sedangkan banyaknya baja cair yang masuk pada *mould* ditentukan dengan pengaturan pada *stopper* (*slide gate*) tundish.

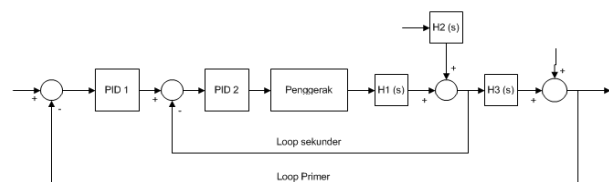
Pentingnya pengaturan level baja cair pada *mould* dalam proses pencetakan baja slab berkualitas baik, maka penulis memilih untuk membahas hal ini.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Metode Pengendalian

#### 2.1.1 Kendali Cascade

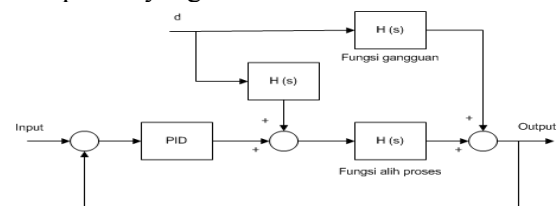
Kendali *cascade* adalah sebuah metode pengendalian yang minimal memiliki dua *loop* (*loop* primer dan *loop* sekunder). *Output* kendali *loop* primer secara fungsional digunakan untuk memanipulasi setpoint bagi kendali *loop* sekunder.



Gambar 2.1 Sistem Kendali Cascade

#### 2.1.2 Kendali Feedforward-feedback

Sistem kendali *feedforward-feedback* adalah sistem kendali gabungan antara kendali *feedforward* (umpan maju) dengan *feedback* (umpan balik). Dalam sistem kendali ini, kendali *feedforward* digunakan untuk mengantisipasi pengaruh gangguan terhadap variabel proses yang dikendalikan.



Gambar 2.2 Sistem Kendali Feedforward-feedback

#### 2.1.3 Kendali Ratio

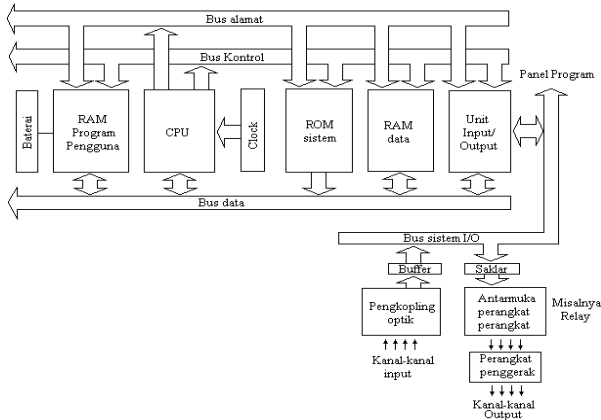
Kendali ratio adalah sistem kendali yang berfungsi untuk menjaga perbandingan dua atau lebih variabel proses pada nilai yang diinginkan. Sistem kendali ini banyak dijumpai pada proses mixing.

### 2.2 Programmable Logic Control (PLC)

*Programmable Logic Controller* (PLC) merupakan perangkat *special-purpose* dengan keandalan tinggi. PLC berupa komputer mikro yang digunakan untuk memenuhi tugas pengendalian secara logika, berdasarkan program yang telah ditentukan.

PLC menerima sinyal *input* dari peralatan sensor berupa sinyal *on off*. Apabila *input* berupa sinyal *analog*,

maka dibutuhkan *input analog* modul yang mengkonversi sinyal *analog* menjadi sinyal digital. Sinyal ini akan dikirim ke *Central Processing Unit* untuk diproses sesuai dengan program yang telah dibuat. Hasil pemrosesan berupa sinyal keluaran digital yang dikirim ke modul *output* untuk menjalankan aktuatur. Jika aktuatur membutuhkan sinyal *analog*, maka dibutuhkan *analog output* modul.



Gambar 2.3 Arsitektur PLC

### 2.3 Fluks Magnetik

Fluks magnetik ( $\Phi$ ) adalah besarnya jumlah medan magnetik (garis gaya magnet) yang dihasilkan sumber magnetik. Kerapatan fluks magnet adalah jumlah total fluks yang menembus area yang tegak lurus dengan fluks tersebut, dirumuskan :

$$B = \frac{\Phi}{A} \text{ tesla} \quad (1)$$

Dimana:

$\Theta$  = Sudut datang B menurut vektor A.

B = Medan magnet seragam melalui bidang datar.

A = Vektor normal (tegak lurus dengan bidang).

#### 2.3.1 Fluks Magnetik Bidang Tertutup

Menurut H. Gauss untuk magnetism, menyatakan bahwa jumlah fluks magnetik yang melalui bidang tertutup (bidang yang melingkupi suatu ruang tanpa celah) sama dengan nol.

$$\oint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (2)$$

Dimana:

S = Luas bidang.

#### 2.3.2 Fluks Magnetik Bidang Terbuka

Fluks magnetik yang melalui bidang terbuka tidak selalu nol. Contoh dari fluks magnetik adalah perubahan fluks magnetik yang melalui kumparan kawat akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL), yang kemudian menyebabkan adanya arus listrik dalam kumparan.

$$\mathcal{E} = \oint (\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) + \mathbf{v} \times \mathbf{B}(\mathbf{r}, t)) \cdot d\mathbf{l} = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (3)$$

Dimana:

E = GGL induksi.

$\Phi$  = Fluks yang melewati bidang terbuka.

$d\mathbf{l}$  = elemen vektor infinitesimal.

$\mathbf{v}$  = kecepatan dalam  $d\mathbf{l}$ ,

E = medan listrik,

B = medan magnet.

### 2.4 Gerbang Logika

Gerbang (*gate*) logika adalah suatu rangkaian digital yang mempunyai satu atau lebih *input* dan hanya mempunyai satu *output*. *Output* gerbang logika ini tergantung sinyal yang diberikan pada *input*-nya. Hal ini dapat kita lihat pada persamaan *Boole* dan tabel kebenaran yang dimiliki oleh setiap gerbang logika.

### 2.5 Sensor

Secara umum sensor didefinisikan sebagai alat yang mampu menangkap fenomena fisika atau kimia kemudian mengubahnya menjadi sinyal elektrik baik arus listrik ataupun tegangan. Fenomena fisik yang mampu menstimulus sensor untuk menghasilkan sinyal elektrik meliputi:

1. *Mechanical*, seperti: panjang, luas, *mass flow*, gaya, *torque*, tekanan, kecepatan, percepatan, panjang gelombang *acoustic*.
2. *Thermal*, seperti: temperature, panas, *entropy*, *heat flow*.
3. *Electrical*, seperti: tegangan, arus, muatan, resistance, frekuensi, dan lain-lain.
4. *Magnetic*, seperti: intensitas medan, *flux density*, dan lain-lain.
5. *Radiant*, seperti: intensitas, panjang gelombang, polarisasi, dan lain-lain.
6. *Chemical*, seperti: komposisi, konsentrasi, pH, kecepatan reaksi, dan lain-lain.

### 2.6 Aktuator

Aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau sistem. Tindakan ini dapat berupa buka tutup *valve*, Bergeraknya suatu robot, on/off-nya suatu heater. Sebuah aktuatur dapat melakukan suatu tindakan apabila telah mendapatkan perintah dari pengendali. Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuatur dapat dipasang sistem *gearbox*. Jenis *actuator* antara lain: *current to pressure* (mengubah arus menjadi tekanan), *actuator* elektrik (contoh: *solenoid*, alat yang digunakan untuk mengubah sinyal listrik menjadi gerakan mekanik), *pizelektrik actuator* (perubahan muatan listrik menyebabkan deformasi mekanik).

## III. PEMBAHASAN

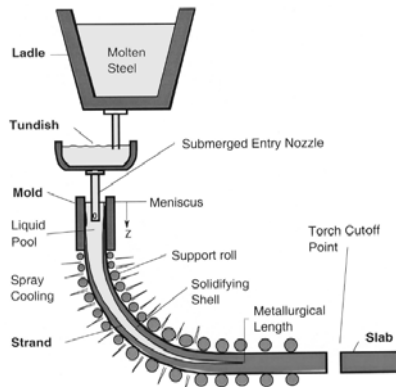
### 3.1 Gambaran Umum *Continuous casting machine* (CCM)

Pembentukan baja cair menjadi baja *slab* diproses di *Continuous Casting Machine*. Proses ini merupakan pengecoran secara kontinyu baja cair yang berasal dari bahan-bahan baku seperti *scrap*, *pellet*, kapur dan bahan lainnya, yang telah dilebur di *EAF* (Electric Arc Furnace) dan selanjutnya baja cair yang telah dituang ke *ladle* dikirim ke *Ladle Furnace* (LF) atau *RH vacuum degassing* untuk memperbaiki kandungan material baja (ferro alloy). Unit dari *continous casting machine* (concast) terdiri dari:

1. *Ladle*: sebagai wadah baja cair.
2. *Ladle Turret*: sebagai tempat kedudukan dari *ladle* saat proses *casting*. *Ladle turret* memiliki dua *arm* yang menopang 2 *ladle* dalam satu waktu.
3. *Tundish*: merupakan tempat baja cair mengalir dari *ladle* ke *mould*.
4. *Tundish Car*: sebagai alat penggeser *tundish* dari posisi *pre-heating tundish* ke posisi *casting*.



5. *Mould*: merupakan alat untuk mencetak baja cair.
6. *Dummy Bar*: merupakan alat untuk memandu dan menarik baja *slab* yang telah dicetak.
7. *Segment*: merupakan alat untuk menjaga ketebalan baja *slab* yang telah dicetak.
8. *Cutting Machine*: merupakan alat untuk memotong baja *slab*.
9. *Stamping Machine*: unit untuk menandai baja *slab*.
10. *Weighing*: unit untuk menimbang baja *slab*.
11. *Cross Transfer*: merupakan tempat pemindahan baja yang telah dipotong.



Gambar 3.1 Proses *Continuous casting machine*

Apabila seluruh pra kondisi *casting* sudah terpenuhi maka semua parameter – parameter *CCM* seperti kecepatan *casting*, aliran air, motor osilasi, *cutting length* dan lain-lain telah siap, maka *CCM* siap digunakan. Setelah *level* baja cair di *tundish* mencapai ketinggian tertentu, *slide gate* atau *stopper tundish* dibuka, sehingga baja cair akan mengalir ke *mould*. Setelah *level* baja di *mould* mencapai ketinggian tertentu, proses pencetakan dimulai. Saat awal pencetakan ini aliran baja dari *tundish* ke *mould* biasanya diatur secara manual dengan merubah-rubah posisi *slide gate (stopper)* sehingga didapatkan aliran baja cair yang diinginkan. Setelah itu sistem kontrol akan berganti dari operasi manual ke operasi otomatis. Selama proses *casting* baja cair akan ditaburi dengan *casting powder* yang berguna untuk pelumasan *mould*, sebagai pelindung dan untuk menangkap inklusi pada baja. *Mould level control system* akan mengatur aliran baja cair dari *tundish* ke *mould* untuk mempertahankan *level* ketinggian baja di *mould*. Pada proses ini di SSP II menggunakan sistem sensor EMLI (*Electro Magnetic Level Indicator*).

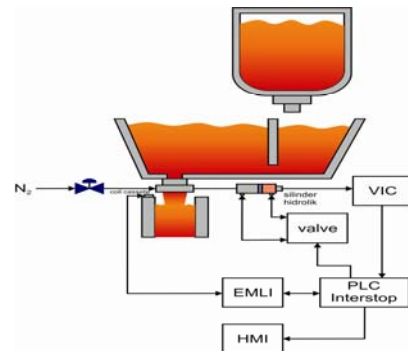
Rentang kecepatan *casting* antara 0.8 – 1.5 meter per menitnya. Pengaturan kecepatan *casting* ini disesuaikan dengan format baja *slab* (800 mm – 1200 mm) dan temperature baja itu sendiri. Prosedur ini dilakukan agar didapatkan kulit baja yang sempurna. Baja cair yang telah dicetak bergerak keluar bersamaan dengan *dummy bar* dari *mould* sesuai dengan pengaturan *casting speed*. Baja *slab* yang keluar dari *mould* dipertahankan ketebalannya dengan menggunakan *roll hot strand*.

### 3.2 Mould

*Mould* merupakan cetakan yang berbentuk segi empat dengan kedua ujungnya terbuka. Didalam *mould* terdapat lapisan dinding yang terbuat dari bahan Tembaga (Cu). *Mould* memiliki dimensi tebal 200 mm dan lebarnya dapat diatur sesuai dengan ukuran *slab* yang akan di produksi antara 800 – 1200 mm.

#### 3.2.1 Mould Level System

*Mould level system* adalah sistem pengaturan untuk mengatur tinggi atau rendahnya *level* baja cair pada *mould*. Bagian-bagian pada *mould level system* yaitu VIC (*Variable Inductance Conditioner*), valve hidrolik, sensor EMLI, PLC Interstop, dan HMI (*Human Machine Interface*).



Gambar 3.2 *Mould Level System*

#### 3.2.2 Mould Oscillation System

Selama proses pencetakan berlangsung, *mould* akan berosilasi naik turun (20 mm) yang digerakan oleh motor AC terkoneksi dengan DFC Siemens Simovert VC. Gerakan osilasi ini dibuat dengan maksud agar baja cair yang sedang dicetak didalam *mould* dapat menjadi padat dan keluar dengan mudah.

#### 3.2.3 Mould Width Adjustment System

*Mould* terdiri dari beberapa bagian, yaitu *narrow right side*, *narrow left side*, *wide loose side* dan *wide fixed side*. *Mould* memiliki dimensi tebal 200 mm dan lebar yang bisa diatur antara 800 mm – 1400 mm. Lebar *mould* dapat diatur sesuai kebutuhan dengan menggunakan motor AC yang terkoneksi dengan DFC (*Digital Frequency Converter*) Siemens Micromaster 440 pada kedua sisi lebarnya (*narrow right side* dan *narrow left side*).

#### 3.2.4 Break-out Predetection System

Bagian *mould* juga terdapat sensor *thermocouple* yang berfungsi sebagai indikator apabila terjadi pemecahan kulit baja, *BOP (Breakout Prediction)*. Dibagian *narrow right side* terdapat 2 *thermocouple* (upper and lower), *narrow left side* terdapat 2 *thermocouple* (upper and lower), *wide loose side* terdapat 8 *thermocouple* (4 upper dan 4 lower) dan *wide fixed side* terdapat 8 *thermocouple* (4 upper dan 4 lower).

#### 3.2.5 Mould Cooling System

Di *mould* terdapat empat sistem pendingin (*mould cooling system*) yang terdapat di *narrow right side*, *narrow left side*, *wide loose side* dan *wide fixed side*. Pendingin ini berbentuk *water jacket* dan berfungsi untuk mendinginkan *mould* dan membuat lapisan kulit baja.

### 3.3 Mould Control System

#### 3.3.1 Sistem Kendali pada Mould Level

Unit kendali *mould level* yang digunakan yaitu sistem EMLI, sistem HMI dan sistem hidrolik. Pada mesin pencetak kontinyu pengendalian level baja cair dilakukan oleh sensor EMLI. Tipe EMLI yang digunakan adalah tipe EMLI-M. Sinyal dari EMLI digunakan sebagai perintah ke *slide gate tundish* (hidrolik) untuk mengatur aliran baja cair dari *tundish* ke *mould*. Kinerja dari sistem kendali *mould*

level (PID maupun *real time interface*) yaitu *set point*, *speed casting*, dan persentase *slide gate* pada layar HMI.

### 3.3.2 Kendali PID

Jenis kendali PID yang digunakan adalah *Cascade (double close loop control)*. *Loop* pertama (*secondary*) adalah sistem pengendalian *slide gate tundish* sedangkan *loop* kedua (*primary*) adalah sistem pengendalian level baja cair (sistem EMLI). Kendali ini mengatur kendali aliran baja cair dari *tundish* ke *mould* dan kendali level baja cair terhadap *set point*.

Sistem kendali yang digunakan pada *mould level* menggunakan kendali Proportional, Integral dan Derivatif dengan parameter sebagai berikut:  $k_{PID} = 0.18$ ;  $k_I = 0.081/\text{cycle}$ ;  $k_D = 3.5 \text{ cycle}$ ; Toleranzband = 0.10%; Filtertime 1 = 0.01 s; Filtertime 2 = 0.01 s; Cycle = 0.10s; D-Filter = 1 cycle; Maximum Gate = 100%; dan Minimum Gate = 53%.

### 3.3.3 Ketahanan Sensor

Sensor yang digunakan adalah sensor EMLI yang memanfaatkan medan elektromagnetik pada *coil cassette* nya. Daya tahan sensor EMLI ini bisa sampai 3 bulan, *spare part* yang sering diganti adalah bagian *coil cassette*. Bagian ini tidak dapat diperbaiki apabila mengalami kerusakan akibat terkena paparan baja cair. Jenis kerusakan adalah nilai tahanan coil berubah (3.2 – 3.4  $\Omega$ ) atau nilai tahanan isolasi kurang dari 100K $\Omega$ .

## 3.4 Electromagnetic level indicator (EMLI)

EMLI merupakan sistem yang terletak di *mould* untuk mengatur dan memonitor level baja cair yang mengalir dari *tundish* ke *mould*, agar level baja cair tersebut konstan atau sesuai dengan acuan level yang diinginkan. Sistem pengaturan level baja cair ini memanfaatkan medan elektromagnetik yang dihasilkan dari *coil cassette (transmitter-receiver)*.

### 3.4.1 Bagian-bagian EMLI

#### 1. Coil Cassete



Gambar 3.3 Coil Cassete

*Coil cassette* mempunyai bentuk batangan dengan dimensi panjang 297 mm, 51,5 mm, dan 38 mm. *Coil cassette* ditempatkan di atas bibir *mould (fixed side)* sehingga bisa juga sebagai bagian dari tutup *mould*. *Coil cassette* yang digunakan berjumlah 2 dengan fungsi sebagai *receiver* dan *transmitter*. Di dalam *coil cassette* terdapat kumparan atau coil yang fisiknya dilindungi bahan tahan panas sehingga coil tersebut tidak berhubungan langsung dengan baja cair dari *tundish*. *Coil cassette* dihubungkan dengan rak kontrol melalui kabel tahan panas. Penghantar *output* dari *coil cassette* berbentuk kabel konektor yang menjulur ke sisi luar *mould*. *Receiver* dihubungkan ke modul *pre amplifier* yang diletakkan di sisi luar kamar pendingin.

Pengukuran level baja cair menggunakan 2 buah *coil cassette* yaitu yang berfungsi sebagai pemancar (*transmitter coil cassette*) dan sebagai penerima (*receiver coil cassette*).

Prinsip yang digunakan seperti lilitan primer dan sekunder pada prinsip transformator. *Coil transmitter* tersebut menghasilkan medan elektromagnetik di sekelilingnya yang selanjutnya diinduksikan ke *coil receiver*.

#### 2. Pre Amplifier

*Pre amplifier* harus diletakkan atau diposisikan pada tempat yang terlindung dari gangguan mekanik dan elektrik karena *pre amplifier* ini sangat sensitif. *Pre amplifier* memiliki kabel yang berasal dari *receiver coil* dan kabel menuju lemari instrumen atau rak kontrol EMLI.



Gambar 3.4 Pre Amplifier pada EMLI

Fungsi *pre amplifier* ini adalah sebagai penguat gelombang elektromagnetik yang berasal dari *receiver* karena gelombang tersebut lemah sehingga perlu dikuatkan sebelum ke panel kontrol EMLI. *Pre amplifier* ini adalah sebagai *low pass filter (LPF)* untuk menghilangkan *noise*. Besar penguatan adalah 10 kali atau 100 kali penguatan sebelumnya.

#### 3. Rak Kontrol

Rak kontrol ini ditempatkan pada lingkungan udara yang dapat dikondisikan atau ruangan ber-AC. Biasanya sebagai elektronik dari sistem EMLI dan merupakan pengubah dari masukan tegangan menjadi arus *output* 4-20 mA. Rak kontrol ini mempunyai beberapa bagian *circuit board* yang terdiri dari beberapa modul yaitu modul *transmitter*, modul *receiver*, modul komunikasi, dan modul *power supply*.

Modul *transmitter* terhubung ke kumparan *transmitter*, modul *receiver* terhubung dengan *amplifier*, modul komunikasi terhubung ke modul *transmitter*, modul *receiver* dan *hand-held terminal* yang berfungsi sebagai pengontrol dan *monitoring* dalam pengkalibrasian atau pengaturan angka-angka yang ingin dimasukkan, dengan susunan kabel-kabel dari masing-masing modul keluar langsung dari belakang lemari panel.

### 3.3.2 Kalibrasi EMLI

#### 1. Two Point Calibration

*Two point calibration* dilakukan dengan menggunakan acuan plat *simulator* dengan kalibrasi *set-up*-nya pada titik pengukuran atau *set point* yaitu 40% dari level tertinggi dan titik nol. Plat ini tidak sepenuhnya sebagaimana baja cair dan dibuat dari *aluminium alloy* dengan komposisi mirip dengan baja cair. Pada *two point calibration* parameter yang di-*set* adalah CLCUR, CALLO, dan CALHI. Untuk CALLO, CLCUR, dan CALHI dapat di-*set* secara manual.

#### 2. One Point Calibration

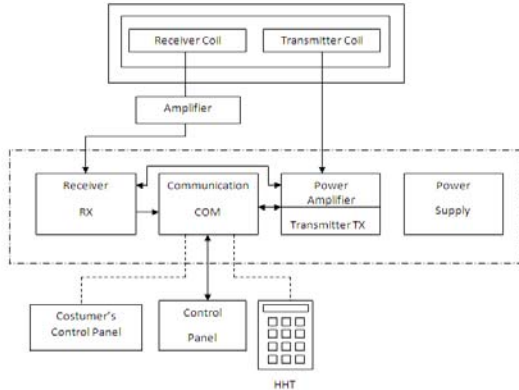
*One point calibration* memperhitungkan kembali parameter-parameter kalibrasi ke nilai yang baru untuk mendapatkan *output* yang diinginkan. Parameter pada *one point calibration* adalah CALIB. Jika CALIB diset nol maka

akan menjadi *zero-set*. Untuk *one point calibration* tidak mempengaruhi pada parameter CLCUR.

### 3. Auto Zero Set

*Auto zero set* adalah pengesetan dengan nilai di atas nilai *zero* pada parameter AZERO. Ketika SIGIN melampaui AZERO maka kalibrasi telah selesai. Kalibrasi *auto zero set* tidak pernah digunakan, ini hanya fasilitas yang disediakan oleh manufaktur.

#### 3.3.3 Prinsip Kerja EMLI

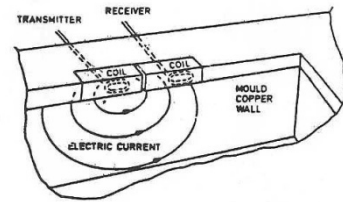


Gambar 3.5 Sistem Kerja EMLI

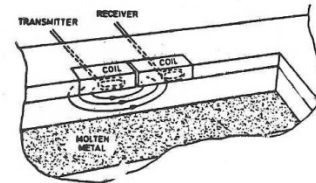
Pada blok diagram diatas dapat menggambarkan sistem EMLI secara keseluruhan. Cairan baja yang mengalir ke *Mould* tersebut dikendalikan melalui sistem EMLI agar *level* baja cair didalam *mould* tetap konstan. Efek dari gejala tersebut yaitu apabila *level* baja mengalami kenaikan maka akan terjadi *overflow*. *Overflow* adalah kejadian dimana baja cair tumpah dari *mould*. Sedangkan saat *level* baja cair mengalami penurunan maka akan mengalami waktu pendinginan oleh dinding *mould* akan lebih singkat sehingga menimbulkan ketidaksempurnaan pembentukan kulit baja (*breakout*).

Untuk mengatur *level* baja maka digunakan *Coil cassette* yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik ini dihasilkan oleh *Coil Transmitter* dimana tegangan dari blok *transmitter* menghasilkan ggl induksi. Ggl induksi tersebut kemudian mempengaruhi *coil* untuk membentuk gelombang elektromagnetik. Medan magnet yang ditimbulkan akan mempengaruhi baja cair dimana baja cair ini berperan sebagai inti besi, kemudian medan electromagnetic diterima oleh kaset kumparan penerima (*Receiver Coil Cassette*).

Jika *level* pada baja cair *mould* turun maka permeabilitasnya adalah udara dan jika *level* tinggi maka permeabilitasnya adalah bahan ferromagnetik yaitu baja cair. Yang mana baja cair ini mempunyai permeabilitas yang lebih tinggi dibanding udara sehingga kerapatan medan magnitnya tentu akan lebih besar, karena rapat medan magnit berbanding lurus terhadap permeabilitasnya. Jika *level* baja cair yang berada di *mould* tinggi, maka menyebabkan terjadinya kerapatan medan elektromagnetik. Jika *transmitter* memberikan suatu medan elektromagnetik maka pada *coil receiver* akan timbul ggl induksi. Sinyal ggl induksi yang dibangkitkan oleh *coil receiver* juga tergantung seberapa besar medan elektromagnetik yang diterima dari *coil receiver*.

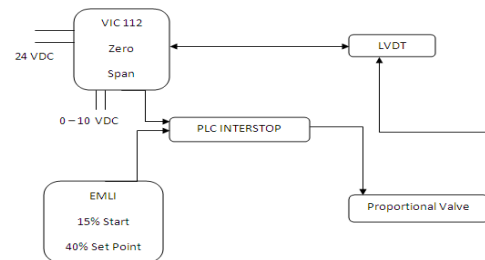


Gambar 3.6 Saat Level Baja Rendah



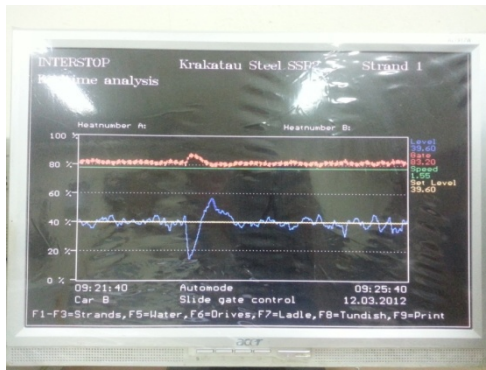
Gambar 3.7 Saat Level Baja Tinggi

Selama mempertahankan *level* baja cair pada nilai *set point*-nya, *slide gate* akan terus bergerak (berosilasi 1%). Hal ini dikarenakan oleh umpan balik dari EMLI dan agar *slide gate* tidak tertahan akibat pengerasan baja cair yang melewatinya. *Level* baja cair yang diinginkan adalah 40% namun nilai *level* baja aktual tidak akan diam pada nilai set pointnya melainkan terus berubah, tapi tetap pada batas toleransi kurang lebih 10%. Jenis sistem kendali *level* baja cair adalah sistem kendali *close loop*.

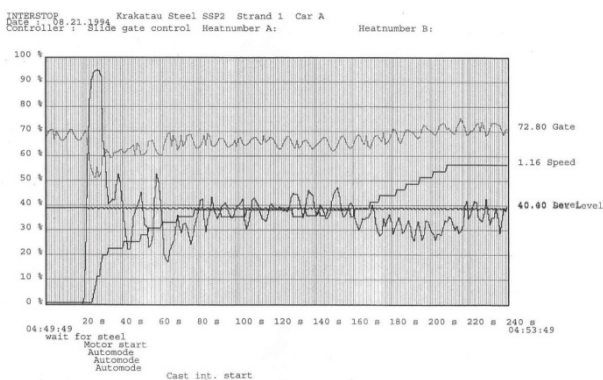


Gambar 3.8 Diagram Blok Pengendalian Level Baja Cair dengan EMLI

Pada Gambar 3.9 memperlihatkan grafik *level* baja cair, bukaan *slide gate* dan *speed* proses pencetakan baja. Pengendalian dari ketiga bagian tersebut set point *level* baja cair berada pada nilai 40% (dapat dilihat pada garis kuning) dan nilai aktual baja cair pada *mould* dapat dilihat pada grafik berwarna biru yang pada gambar menunjukkan pembacaan di nilai 39.60%. dengan bukaan *slide gate* pada nilai 83.20% mempengaruhi kecepatan *speed* yaitu 1.55 meter/menit. Pada saat grafik *mould level* stabil berada pada garis set point nya 40% akan diimbangi dengan bukaan *slide gate* yang stabil pula pada nilai 80%. Pada grafik, *mould* mengalami penurunan *level* yang kemudian mengalami kenaikan drastis hal ini disebabkan proses penembakan gas argon. Penembakan gas argon dilakukan untuk menghilangkan penumpukan dari pengerasan baja cair di *pouring tube tundish*. Saat sistem stabil, *level* baja cair aktual bernilai 39.60% yang masih berada dalam batas toleransi ( $\pm 10\%$ ).

Gambar 3.9 PLC Interstop *realtime analysis*

Pada proses awal pencetakan, grafik menunjukkan adanya *Overshoot*. Hal ini terjadi disebabkan oleh dari pengaruh pengendali Proportional yang ada pada sistem PID. *Overshoot* memiliki nilai lebih dari 90% tetapi memiliki waktu tanjak yang cepat yaitu selama 20detik. Pada aksi kendali proporsional, keluaran sistem kendali akan berbanding lurus dengan masukan dan *error*, dan menghasilkan tanggapan yang cepat. Akan tetapi *Overshoot* meningkat sehingga sistem cukup bermasalah terutama saat awal beroperasi. Untuk kendali Integral, keluaran sistem berubah dengan cepat sesuai perubahan *error*, sehingga *error steady state* mendekati nol. Sedangkan aksi kendali derivative bekerja sesuai dengan laju perubahan *error*. Oleh karena itu, kendali ini berfungsi mereduksi laju perubahan *error* sehingga menjaga kestabilan sistem.



Gambar 3.10 Grafik saat awal proses pencetakan

Pada HMI ditampilkan secara jelas status aktual dari proses pencetakan baja. Status pada Tundish dan Mould seperti temperature, level control, weight, level set point, slide gate position, mould width, actual level, level set point, casting speed tertera pada HMI tersebut. Dari data yang telah diambil dapat dilihat pada saat sistem pencetakan stabil, yaitu:

1. Tundish :
  - a. Temperatur : 1555°C
  - b. Level control : Auto
  - c. Weight : 21.37 tons
  - d. Level set point : 20.99 tons
  - e. Slide gate position : 74%
  - f. Mould width : 1265mm
2. Mould
  - a. Level control : Auto
  - b. Actual level : 38.6%
  - c. Level set point : 40.0%
  - d. Slide gate position : 81%
  - e. BOP : -

- f. Casting speed : 1.60m/min
- g. Str.length : 217.38m
- h. Rest length : 41.29m

Gambar 3.11 Tampilan *Human Machine Interface* pada Mesin *Continuous Casting*

### 3.4 Permasalahan pada Mould Level Control

Sensor EMLI terkena cipratan baja panas yang menyebabkan berkurangnya isolator pada sensor yang menyebabkan sensor tidak bisa bekerja dengan baik atau tidak akurat dalam pembacaan sehingga dilakukan pencetakan secara manual oleh operator. *Coil cassette* apabila mengalami kerusakan tidak dapat diperbaiki karena terpapar oleh baja cair. Jenis kerusakan adalah nilai tahanan coil berubah (3.2 – 3.4 Ohm) atau nilai tahanan isolasi kurang dari 100 KOhm. Atau putusnya kabel yang menghubungkan EMLI dengan transmitter akibat gerakan osilasi pada *mould* sehingga tidak dapat terbaca pada PLC Interstop atau HMI nya. Adapun slide gate yang kurang pelumasan sehingga sulit untuk membuka tutup aliran baja cair ke *mould*. Adanya kerusakan kabel dari transducer ke transmitter pada slide gate akibat osilasi *mould*.

## IV. KESIMPULAN

1. Pengaturan untuk level baja cair pada *mould* menggunakan penggabungan sistem pada VIC (*Variable Inductance Conditioner*), valve hidrolik, sensor EMLI, PLC Interstop, dan HMI (*Human Machine Interface*).
2. EMLI (*Electromagnetic level indicator*) merupakan sensor pengendalian level baja pada *mould* yang memanfaatkan sifat elektromagnetik pada baja.
3. Penentuan *set point* sebesar 40% pada *mould* untuk menghindari terjadinya *break-out* ataupun *overflow*.
4. *Overshoot* yang terjadi pada saat awal pengoperasian merupakan efek dari pengontrol PID.
5. Penggunaan Cu (tembaga) pada dinding *mould* dikarenakan Cu yang berifat diamagnetik dan memiliki titik lebur lebih tinggi daripada baja.
6. Pergerakan *tundish gate* disebabkan adanya pengaruh dari proporsional *valve* dari unit hidrolik yang dikendalikan oleh PLC IPCS (*Interstop Process Control System*).

7. Nilai parameter P, I dan D pada sistem kendali EMLI adalah  $K_p = 0.18$ ,  $K_i = 0.07$  dan  $K_d = 3.6$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Achmadi, Sahid Fitriyadi, Eka.(2008). *Laporan Kerja Praktek Mould Cooling System dan Kontrol Level Baja Cair*. 2008, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [2]. Anonim. (1992). *Manual Book Mould Measurement and Datasheet of EMLI Cassete*. Cilegon: PT. Krakatau Steel.
- [3]. Anonim. (1998). *Manual Book Interstop Mould Level Control System*. Cilegon: PT. Krakatau Steel.
- [4]. Anonim. *Manual Book Continuous casting machine (CCM)*. Cilegon: PT. Krakatau Steel.
- [5]. Wicaksono Sardjono, Budi. (2007). *Pengontrolan Suhu dan Ketinggian Air*. Jakarta: Universitas Bina Nusantara.
- [6]. [www.krakatausteel.com](http://www.krakatausteel.com). Diakses pada 6 Februari 2013

# Desain *RF Buffer Amplifier* Pada *Exciter ILS Glidepath* Frekuensi 328,6 MHz – 335,4 MHz

Toni

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang

Ester Mella

Teknik Telekomunikasi dan Navigasi Udara  
Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia (STPI)  
Curug. Tangerang  
e.mella@rocketmail.com

**Abstrak-** Sebuah *amplifier* sangat dibutuhkan untuk meningkatkan power dari sinyal *radio frekuensi (RF)* khususnya pada *Exciter ILS Glide Path*. Selaras dengan hal tersebut, pada jurnal ini akan dibahas perancangan rangkaian *RF buffer amplifier* pada peralatan *Exciter ILS Glide Path*. *RF buffer amplifier* merupakan sebuah perangkat yang berfungsi sebagai penguat sekaligus pembuat *matching*, yang berada setelah Perangkat Osilator. *RF buffer amplifier* ini bekerja pada frekuensi 328.6 MHz – 335.4 MHz dengan *center frekuensi* 332 MHz yang merupakan frekuensi kerja *Exciter ILS Glide Path*. Pada proses perancangan, dipergunakan transistor tipe 2SC3739 dengan DC Bias  $V_{CE} = 1.0$  V,  $I_c = 150$  mA, dan  $V_{CC} = 12$  V. Sementara itu, *buffer amplifier* ini memiliki bagian *input matching impedance* berupa T-matching dan L-matching, sedangkan pada *output matching impedance* digunakan T-matching. Rancangan ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Advance Design System (ADS)*. Hasil perancangan memperlihatkan *RF buffer amplifier* ini memiliki gain ( $S_{21}$ ) sebesar 13 dB, *return loss* ( $S_{11}$ ) sebesar -20 dB, dengan *bandwidth* 7 MHz, dan *VSWR* sebesar 1,211. Hasil ini simulasi memperlihatkan bahwa rangkaian *RF buffer amplifier* telah dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasi yang diharapkan.

**Index Terms—** *Buffer Amplifier, Gain, Glide Path, Return Loss, VSWR*

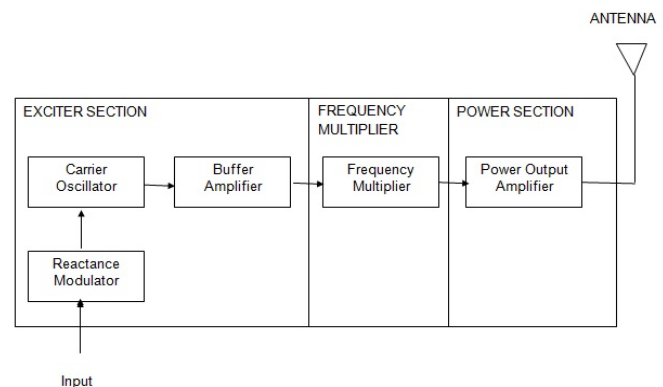
## I. PENDAHULUAN

Peralatan navigasi penerbangan, khususnya peralatan *instrument landing system (ILS)*, terbagi atas tiga komponen, diantaranya *localizer, glide path* dan *marker beacon*. ILS *localizer* bekerja pada frekuensi 108 MHz – 111.975 MHz, perangkat ini berfungsi untuk menentukan kelurusan pesawat dengan *center line runway*. Sementara ILS *glide path* bekerja yang bekerja pada frekuensi UHF antara 328.6 MHz – 335.4 MHz berfungsi untuk menentukan sudut luncur pendaratan (*angle slope*). *Marker beacon* bekerja pada frekuensi 75 MHz untuk menentukan jarak pesawat terhadap titik pendaratan.

Prinsip kerja *localizer* dan *glide path* hampir sama, yaitu dimodulasikan oleh dua sinyal *guidance* yaitu 90 Hz dan 150 Hz. Total kedalaman modulasi pada *localizer* 40 % dan pada *Glide Path* 80 %. Kedua sinyal tone 90 Hz dan 150 Hz ini dimodulasikan melalui pemancar *Carrier Side Band (CSB)* dan *Side Band Only (SBO)* sehingga dapat diterima nilai dari *Difference Depth of Modulation (DDM)* dari kedua sinyal pada pesawat. Jika kedua sinyal tersebut menunjukkan nilai DDM nya 0 (nol), artinya tidak terjadi perbedaan modulasi, maka pesawat dikatakan sudah tepat dalam jalur pendaratan kelurusan *center line runway* dan *angle slope* pendaratan.

Pada ILS *cabinet* terdapat dua bagian utama yaitu *Transmitter* dan *Monitor*. Dari *Transmitter* akan dipancarkan empat output sinyal pada *Localizer*, yaitu *CSB Course, SBO*

*Course, CSB Clearance, dan SBO Clearance*. Sedangkan pada *Glide Path* keluaran transmittersnya berupa *CSB Course, SBO Course, dan CSB Clearance*. Sinyal – sinyal keluaran ini akan diteruskan ke *Antena Distribution Unit*, kemudian dipancarkan melalui *antenna*. Sebelum dipancarkan, sinyal akan dikuatkan oleh *power amplifier*, yang sebelumnya terdapat penguatan awal pada *buffer amplifier* yang menguatkan power yang masih kecil. Pada Gambar 1 memperlihatkan diagram blok *Exciter* pada *Transmitter ILS* disertai dengan penempatan *RF buffer amplifier*.



Gambar 1. Diagram blok *Exciter* pada *Transmitter ILS* disertai dengan penempatan *RF buffer amplifier*.

*RF Buffer Amplifier* merupakan rangkaian penguat setelah Osilator. Selain menguatkan, *RF Buffer amplifier* bertujuan untuk mematchingkan *output impedance* dari *carrier oscillator* dengan *input impedance* pada *frequency multiplier*. Buffer yang dirancang menggunakan komponen *lumped* untuk aplikasi *RF Amplifier Transmitter* sementara itu, spesifikasi rancangannya meliputi :

- Frekuensi kerja 328.6 MHz – 335.4 MHz yang merupakan frekuensi kerja *Exciter ILS Glide Path*.
- Frekuensi center sebesar 332 MHz.
- Bandwidth 8 MHz  $\pm$  2 MHz
- Gain ( $S_{21}$ ) >10 dB.

Sementara itu, *RF buffer amplifier* ini memiliki bagian *input matching impedance* berupa T-matching dan L-matching, sedangkan pada *output matching impedance* digunakan T-matching. Rancangan ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Advance Design System (ADS)*.

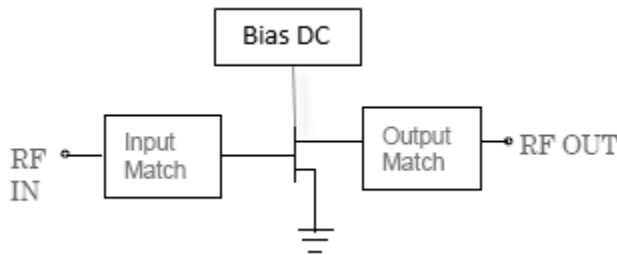
## II. PERANCANGAN RF BUFFER AMPLIFIER

Pada subbab ini akan dibahas perancangan *RF buffer amplifier*, spesifikasi dan karakteristik secara lebih lengkap terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi dan karakteristik i RF Buffer Amplifier

No.	Spesifikasi	Karakteristik
1	Frekuensi Kerja	328.6 – 335.4 MHz
2	Frekuensi Tengah	332 MHz
3	Bandwidth	8 MHz ± 2 MHz
4	Stability	K>1
5	Gain (S <sub>21</sub> )	>10 dB
6	Return Loss (S <sub>11</sub> )	<-10 dB

Pada perancangan ini, rangkaian *RF buffer amplifier* dibagi atas beberapa bagian di antaranya yaitu bagian *input* dan *output matching impedance*, transistor sebagai penguat dan bias DC. Pada gambar 2 memperlihatkan blok sederhana dari *amplifier*.



Gambar 2. Blok diagram *amplifier*

Terlihat bahwa sebuah RF amplifier terdiri atas DC bias dan impedance matching. *Impedance matching* merupakan bagian yang penting dalam merancang suatu *power amplifier*. Terdiri dari *input matching impedance* dan *output matching impedance*. *Matching impedance* yang pada umumnya digunakan adalah bentuk *T-Network*. Dinamakan *T-Network* karena bentuknya yang menyerupai huruf L dan terdiri dua komponen yaitu induktor (L) dan kapasitor (C).

Setelah menentukan spesifikasi *RF buffer amplifier*, tahapan yang selanjutnya dilakukan adalah memilih transistor yang sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemilihan transistor dilakukan dengan bantuan *software ADS* dimana terdapat *library* yang berisi berbagai model transistor yang dapat digunakan untuk merancang RF Buffer Amplifier. Pada penelitian ini dipergunakan jenis transistor 2SC3739 dengan DC Bias  $V_{CE} = 1.0\text{ V}$  dan  $I_c = 150\text{ mA}$ , dan  $V_{CC} = 12\text{ V}$ . Transistor ini memiliki gain yang tinggi sampai dengan frekuensi 400 MHz, sehingga cocok dipergunakan pada perangkat *Exciter ILS Glide Path*. Tabel 2 memperlihatkan karakteristik transistor 2SC3739.

Tabel 2. Spesifikasi transistor 2SC3739.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T <sub>a</sub> = 25 °C)						
CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT	TEST CONDITIONS
Collector Cutoff Current	I <sub>CBO</sub>			100	nA	V <sub>CB</sub> = 40 V, I <sub>E</sub> = 0
Emitter Cutoff Current	I <sub>EB0</sub>			100	nA	V <sub>EB</sub> = 4.0 V, I <sub>C</sub> = 0
DC Current Gain	h <sub>FE1</sub>	75	150	300		V <sub>CE</sub> = 1.0 V, I <sub>C</sub> = 150 mA
DC Current Gain	h <sub>FE2</sub>	20	75			V <sub>CE</sub> = 2.0 V, I <sub>C</sub> = 500 mA
Collector Saturation Voltage	V <sub>CE(sat)</sub>	0.25	0.75		V	I <sub>C</sub> = 500 mA, I <sub>B</sub> = 50 mA
Base Saturation Voltage	V <sub>BE(sat)</sub>	1.0	1.2		V	I <sub>C</sub> = 500 mA, I <sub>B</sub> = 50 mA
Gain Bandwidth Product	f <sub>T</sub>	200	400		MHz	V <sub>CE</sub> = 10 V, I <sub>E</sub> = -20 mA
Output Capacitance	C <sub>ob</sub>	3.5	8.0		pF	V <sub>CB</sub> = 10 V, I <sub>E</sub> = 0, f = 1.0 MHz
Turn-on Time	t <sub>on</sub>		35		ns	V <sub>CC</sub> = 30 V
Storage Time	t <sub>stg</sub>		225		ns	I <sub>C</sub> = 150 mA
Turn-off Time	t <sub>off</sub>		275		ns	I <sub>B1</sub> = -I <sub>B2</sub> = 15 mA

\* Pulsed: PW ≤ 350 μs, Duty Cycle ≤ 2 %

h<sub>FE</sub> Classification

Marking	B12	B13	B14
h <sub>FE1</sub>	75 to 150	100 to 200	150 to 300

Untuk mengaktifkan transistor pada Q point nya maka diperlukan rangkaian DC bias. Pada penelitian ini dipergunakan bias transistor berjenis *voltage-divider* karena lebih stabil. Nilai resistansi dari biasing transistor 2SC3739 dihitung dengan melihat spesifikasi transistor pada Tabel 2,

dengan  $V_{CC} = 12\text{ V}$ ,  $V_{CE} = 1\text{ V}$ ,  $I_c = 150\text{ mA}$ , dan  $\beta = 150$ , maka didapat :

$$V_E = \frac{1}{10} V_{CC} = \frac{1}{10} (12\text{ V}) = 1.2\text{ V}$$

$$V_B = V_{EE} + V_E = 0.7\text{ V} + 1.2\text{ V} = 1.9\text{ V}$$

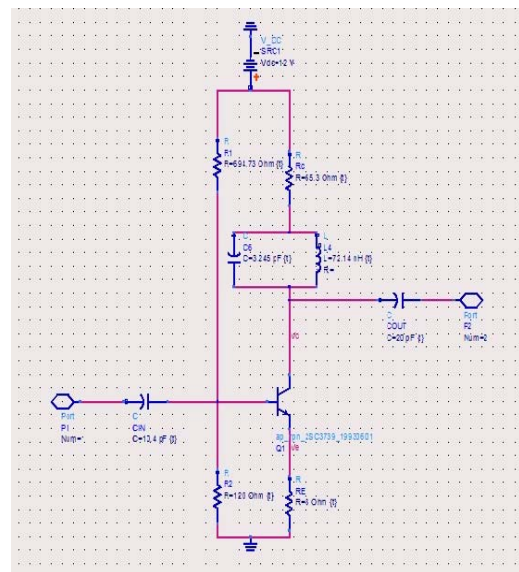
$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \approx \frac{V_E}{I_C} = \frac{1.2\text{ V}}{150\text{ mA}} = 8\ \Omega$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - V_E}{I_C} = \frac{12\text{ V} - 1\text{ V} - 1.2\text{ V}}{150\text{ mA}} = 65.3\ \Omega$$

$$R_2 = \frac{1}{10} \beta R_E = \frac{1}{10} (150) (8\ \Omega) = 120\ \Omega$$

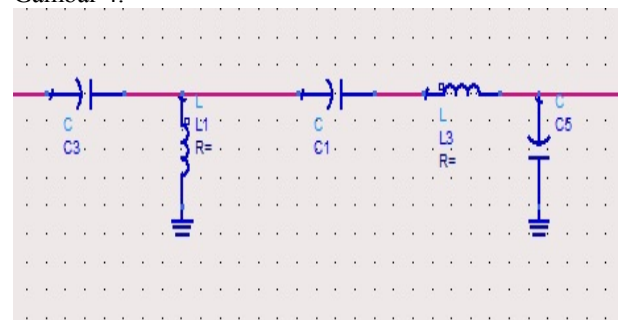
$$R_1 = \frac{V_{CC}R_2 - V_{CE}R_2}{V_E} = \frac{(12\text{ V})(120\ \Omega) - (1\text{ V})(120\ \Omega)}{1.9\text{ V}} = 694.73\ \Omega$$

Rangkaian ini kemudian diaplikasikan pada perangkat lunak *Advance Design System (ADS)*. Secara lebih lengkap terlihat pada Gambar 3 berikut ini.



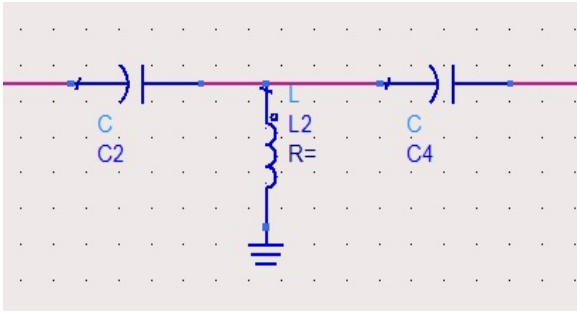
Gambar 3. Rangkaian DC Bias Transistor tipe *voltage divider*

Setelah menentukan rangkaian DC Bias, tahapan selanjutnya yaitu menentukan rangkaian *input matching impedance* pada penelitian ini dipergunakan jenis *T-matching* dan *L-matching*, sedangkan pada *output matching impedance* digunakan *T-matching*. Seperti terlihat pada Gambar 4.



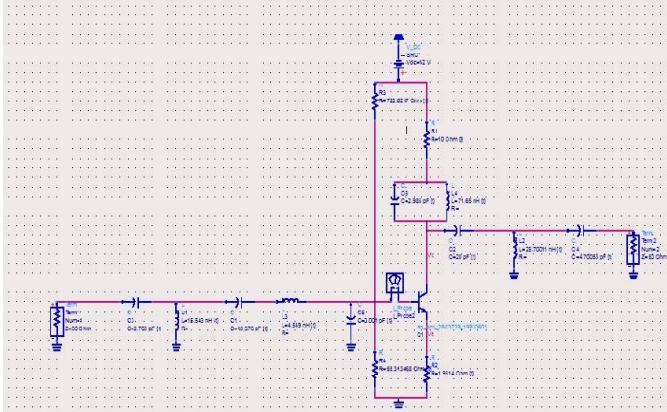
Gambar 4. Rangkaian *input matching impedance*

Sementara pada *output matching impedance* digunakan *T-matching* seperti terlihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Rangkaian *output matching impedance*

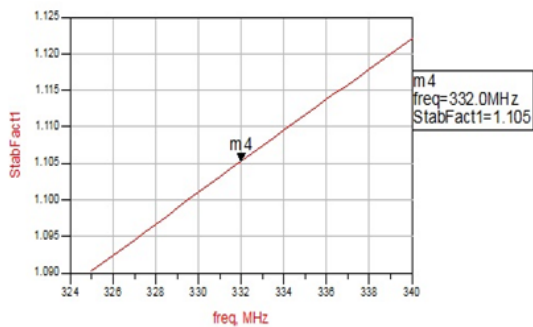
Setelah dihitung bias transistor, *input matching impedance* dan *output matching impedance*, Rangkaian lengkapnya terlihat pada Gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Rangkaian lengkap *RF buffer amplifier*

III. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

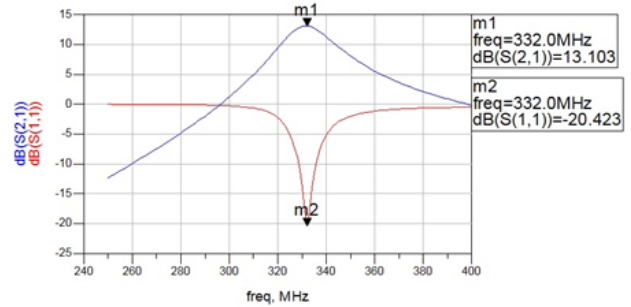
Pada subab ini akan dibahas hasil simulasi dari rangkaian lengkap *RF buffer amplifier*, mulai dari *Stability (K)*, *Gain (S<sub>21</sub>)* *Return Loss (S<sub>11</sub>)*, dan *Bandwidth*. Suatu rangkaian *RF buffer amplifier* sangat direkomendasikan dalam keadaan *unconditionally stable*. Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa untuk dapat mengetahui apakah *amplifier* yang telah dirancang telah memenuhi kriteria kestabilan atau tidak, dapat dilihat dari nilai faktor kestabilan ( $K > 1$ ). Jika kondisi tersebut telah terpenuhi, maka dapat dikatakan bahwa *amplifier* dalam keadaan *unconditionally stable*, atau dengan kata lain *amplifier* tersebut stabil menguatkan sinyal dan tidak bersoilasi. Hasil simulasi *Stability (K)* rangkaian lengkap *RF buffer amplifier* terlihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil simulasi *Stability Factor (K)* pada rangkaian lengkap *RF buffer amplifier*

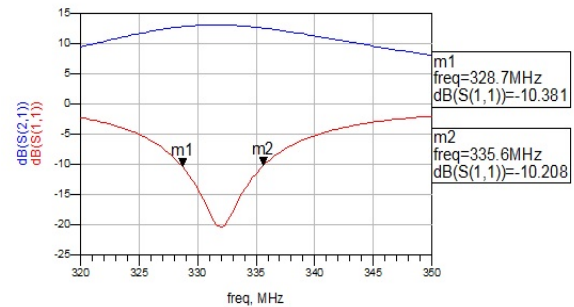
Gambar 7 memperlihatkan pada pada frekuensi tengah 332 MHz nilai kestabilan ( $K$ ) sebesar 1.105, yang berarti nilai  $K > 1$  dan memenuhi spesifikasi kinerja yang diharapkan

dari *RF Buffer Amplifier*. Tahapan selanjutnya yaitu mensimulasikan nilai *Gain (S<sub>21</sub>)* *Return Loss (S<sub>11</sub>)* rangkaian lengkap *RF buffer amplifier*.



Gambar 8. Hasil simulasi nilai *Gain (S<sub>21</sub>)* *Return Loss (S<sub>11</sub>)* rangkaian *RF buffer amplifier*

Pada Gambar 8 terlihat nilai nilai *Gain (S<sub>21</sub>)* pada rangkaian lengkap *RF buffer amplifier* sebesar 13.1 dB dan lebih besar dari spesifikasinya yaitu diatas 10 dB. Sementara nilai *Return Loss (S<sub>11</sub>)* dibawah -10 dB seperti yang diharapkan, yaitu -20.4 dB. Hal ini memperlihatkan bahwa rancangan *RF buffer amplifier* telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.



Gambar 9. Hasil simulasi nilai *bandwidth* rangkaian *RF buffer amplifier*

Pada Gambar 9 memperlihatkan hasil simulasi bandwidth, dimana bandwidth yang diperoleh sebesar 7 MHz. Saat memiliki nilai return loss -10 dB. Sementara itu, Tabel 3 memperlihatkan perbandingan spesifikasi dan hasil simulasi.

Tabel 3. Perbandingan spesifikasi dan hasil simulasi

No.	Spesifikasi	Karakteristik	Hasil Simulasi
1	Frekuensi Kerja	328.6 – 335.4 MHz	328.6 – 335.4 MHz
2	Frekuensi Tengah	332 MHz	332 MHz
3	Bandwidth	8 MHz ± 2 MHz	7 MHz
4	Stability	$K > 1$	1,1
5	Gain (S <sub>21</sub> )	>10 dB	13,1 dB
6	Return Loss (S <sub>11</sub> )	<-10 dB	-20,4 dB

Secara keseluruhan, pada Tabel 3 memperlihatkan perbandingan spesifikasi dan hasil simulasi. Terlihat bahwa rancangan *RF buffer amplifier* telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan.

IV. KESIMPULAN

Hasil perancangan simulasi rancangan *RF buffer amplifier* menunjukan bahwa ampifier bekerja pada frekuensi



tengah 332 MHz untuk aplikasi Exciter Glide Path. Transistor 2SC3739 adalah transistor yang tepat digunakan untuk merancang Buffer, dengan gain diatas 10 dB dan return loss dibawah - 10 dB. Hasil perancangan memperlihatkan *RF buffer amplifier* ini memiliki gain ( $S_{21}$ ) sebesar 13 dB, return loss ( $S_{11}$ ) sebesar -20 dB, dengan bandwidth 7 MHz, dan VSWR sebesar 1,211. Hasil ini simulasi memperlihatkan bahwa rangkaian *RF buffer amplifier* telah dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasi yang diharapkan.

#### REFERENCES

- [1] Anton Nugroho D.P, “Simulasi dan Disain LNA pada Frekuensi 2.3 GHz, Universitas Indonesia, Juli 2009.
- [2] Daenotes, “AM Transmitter”, Electronic Communication System.
- [3] David Ridho, “Perancangan High Power Amplifier untuk Mobile WIMAX pada Frekuensi 2.3 GHz”, Universitas Indonesia, Juni 2009.
- [4] Gunawan Wibisono, Muh Wildan, “Co-Design Dual Band LNA dan Bandpass Filter RF Field Detector untuk Monitoring Ground Check Peralatan RNA”, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia.
- [5] M Niknejad Ali, “Amplifier Design Examples”, UC Berkeley, 2009.
- [6] Pozar David M. , “Microwave Devices and Circuits”, Prentice-Hall.
- [7] Shi Sheng Jin, Wei Wei Cheng, Shu Rong Dong, “Design and Simulation of Low Noise Amplifier for Radio Frequency Front End of Wireless Communication”, Zhejiang University, July 2010.
- [8] Toto Supriyanto, Teguh Firmansyah, Anton Nugroho, “Perancangan Radio Frequency High Gain Low Noise Amplifier pada Frekuensi 2.3 GHz untuk Mobile WiMax”, Jurnal Ilmiah Elite Elektro, September 2011.
- [9] Wilfredo Rivas-Torres, “Power Amplifier Design Using ADS”, Technical Support Application Engineer, October 2004.

# Studi Awal Pengembangan dan Pengolahan Mineral Indonesia sebagai Bahan Thermistor

Yus Rama Denny<sup>1,\*</sup>, Andri Suherman<sup>1</sup>, Dani Gustaman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, <sup>2</sup>Pusat Teknologi Nuklir Bahan Dasar dan Radiometri-BATAN

e-mail : yusramadenny@gmail.com

**Abstrak**—Telah dilakukan studi awal pembuatan dan pengolahan bahan mineral Indonesia sebagai bahan dasar pembuatan termistor NTC. Bahan mineral yarosit dari alam dimurnikan dengan larutan HCl, diendapkan dengan menggunakan NH<sub>4</sub>OH dan dipanaskan pada suhu kalsinasi 700°C selama 2 jam. Pembuatan termistor NTC dilakukan dengan mencampurkan serbuk yarosit hasil pemurnian dan pengendapan dengan TiO<sub>2</sub>. Pasta termistor FeTiO<sub>3</sub> dicetak dipermukaan alumina substrat dengan metode *screen printing*, kemudian dilakukan pemanasan pada suhu 500°C selama 1 jam diruangan udara dilanjutkan disinter pada suhu 1100°C selama 1 jam diruangan hidrogen. Sifat listrik keramik film tebal hasil sinter diukur pada berbagai suhu. Struktur kristal dievaluasi dengan difraksi sinar x (XRD), dan struktur mikro dievaluasi dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Data analisis XRD memperlihatkan bahwa seluruh keramik film tebal berstruktur heksagonal (*Illiminite*). Data struktur mikro dan sifat listrik memperlihatkan bahwa termistor dari yarosit memenuhi kebutuhan pasar.

**Kata kunci** : bahan mineral, termistor, yarosit, X-ray diffraction, Struktur Mikro.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumberdaya alam yang melimpah seperti hutan, minyak bumi, gas alam dan bahan tambang. Sumber daya alam tersebut sudah semestinya dimanfaatkan untuk menunjang pembangunan bangsa. Mineral yang mengandung oksida besi merupakan salah satu sumber daya alam yang banyak ditemukan. Selama ini, mineral tersebut pemanfaatannya hanya sebagai bahan mentah (raw materials) dan langsung dijual keluar negeri tanpa melalui proses pengolahan. Pemanfaatan ini tentu saja tidak efektif dan tidak optimal. Sebenarnya mineral tersebut karena mengandung oksida besi yang besar dapat dimanfaatkan untuk bahan industri, salah satunya adalah mineral yarosit.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Gustaman, D. et al., 2005) diketahui bahwa bahan mineral yarosit yang berasal dari Pd. Kerta Pertambangan kota Garut Jawa Barat hasil kopresipitasi (pelarutan dengan larutan asam diikuti

dengan pengendapan dan kalsinasi) dapat dibuat menjadi termistor yang memenuhi standar komersil.

Termistor (*Thermally Sensitive Resistors*) merupakan komponen elektronika yang resistansinya bergantung dari temperatur dan memiliki karakteristik sangat sensitif terhadap temperatur (Anonim\_a, 2006). Piranti ini banyak digunakan dalam berbagai peralatan seperti dalam *electric cooker*, sebagai sensor temperatur yang sangat sensitif, sensor aliran gas, sensor kelembapan (*humidity*), sensor radiasi dan lain-lain.

Pada penelitian ini pembuatan termistor dilakukan dengan mencampurkan yarosit dan TiO<sub>2</sub> untuk membentuk FeTiO<sub>3</sub> (*Illiminite*). Pembuatan termistor dari bahan mineral yarosit akan dibandingkan dengan termistor yang dibuat dari bahan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hasil impor bermerk dagang Aldrich dengan kemurnian yang lebih tinggi dari mineral yarosit hasil pemurnian-pengendapan.

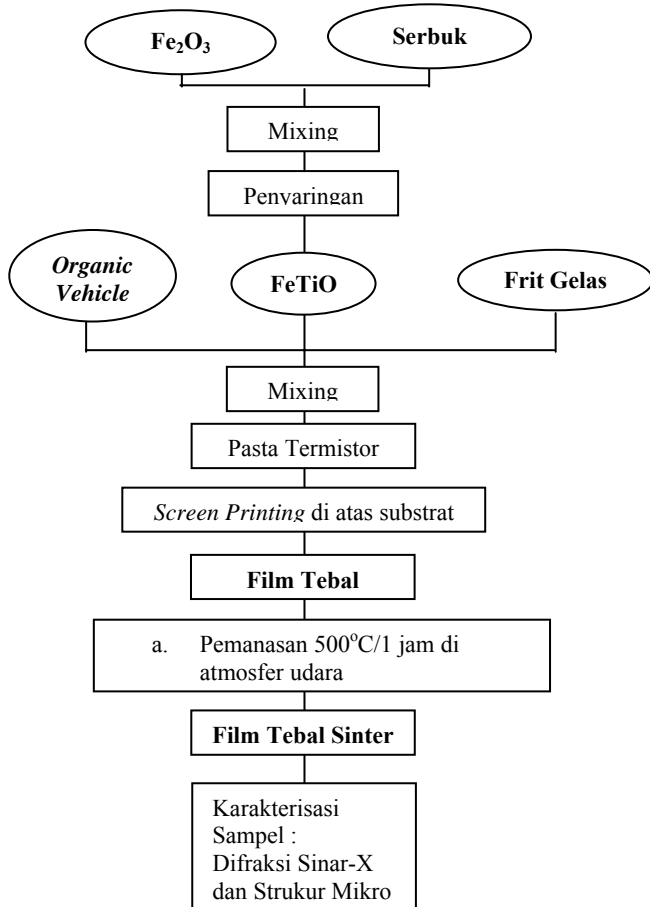
## II. METODE PENELITIAN

Serbuk mineral yarosit asli yang diperoleh dari PD. Kerta Pertambangan Bandung terlebih dahulu dipanaskan dengan suhu 700°C selama 4 jam. Serbuk mineral hasil pemanasan tersebut dilarutkan didalam HCl sehingga diperoleh larutan asam, kemudian disaring untuk memisahkan serbuk yang tidak larut. Larutan hasil penyaringan ditambahkan larutan NH<sub>4</sub>OH untuk mendapatkan endapan Fe(OH)<sub>2</sub>, kemudian endapan yang diperoleh dikalsinasi pada suhu 700°C selama 2 jam di atmosfer udara. Untuk melihat komposisi kimia serbuk mineral yarosit hasil kalsinasi dianalisis di Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara (P3TMB) Bandung.

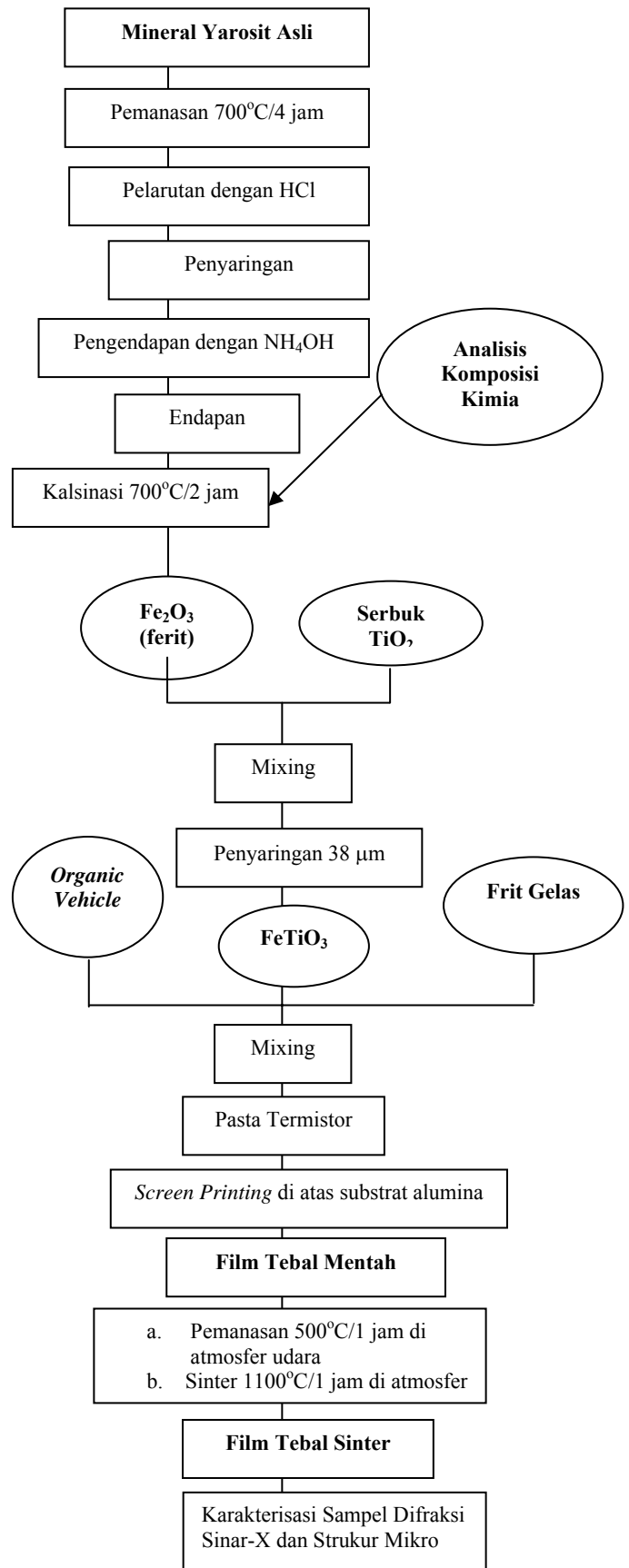
Film tebal termistor NTC dicetak diatas permukaan substrat alumina dengan metode penyablonan (*screen printing*). Untuk pembuatan pasta termistor dapat dilakukan dengan mencampurkan senyawa organik, FeTiO<sub>3</sub>, dan frit gelas (dapat dilihat pada tabel 1). Senyawa organik yang digunakan antara lain etil selulosa (10% berat) dan  $\alpha$ -terpineol (90% berat), sedangkan untuk pembuatan frit gelas dengan mencampurkan serbuk PbO (30% berat), SiO<sub>2</sub> (20% berat), dan B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (50% berat) kemudian dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) dengan cara memasukkannya kedalam air secara cepat sehingga didapatkan bahan gelas. Bahan gelas

tersebut digerus dan dilakukan penyaringan dengan ukuran 38 mikron sehingga didapatkan frit gelas. Pada penelitian ini konsentrasi frit gelas yang ditambahkan divariasikan menjadi 2 % berat dan 5 % berat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas termistor NTC film tebal.

Selanjutnya substrat alumina yang sudah dicetak dengan pasta termistor dilakukan pemanasan pada temperatur 500°C selama 1 jam di ruangan udara dilanjutkan dengan penyinteran pada temperatur 1100°C selama 1 jam di ruangan hidrogen dengan nilai kenaikan suhu (*heating rate*) dan penurunan suhu (*cooling rate*) sebesar 6°C/menit, sehingga didapatkan "film tebal sinter". Analisis difraksi sinar-x dilakukan untuk melihat struktur kristal yang terjadi dan dengan menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) struktur mikro film tebal sinter dievaluasi.



Gambar 1. Diagram alir untuk FeTiO<sub>3</sub> dari bahan Aldrich



Gambar 2. Diagram alir untuk FeTiO<sub>3</sub> dari mineral yarosit

### III. HASIL DAN ANALISIS

#### A. Komposisi Kimia Serbuk Yarosit

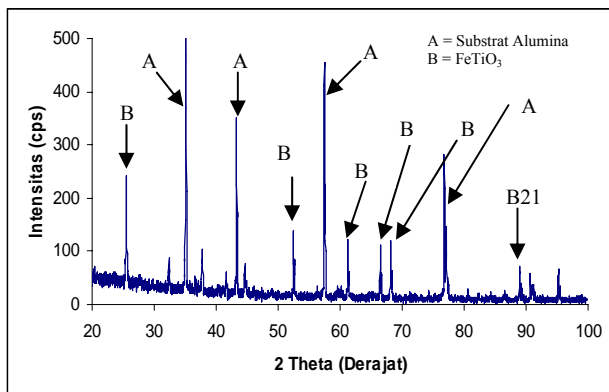
Dari hasil analisis kimia, bahwasanya serbuk yarosit hasil kopresipitasi selain mengandung material  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  juga terlihat beberapa material ikutan yaitu  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  dan  $\text{MnO}$ . Hasil analisis kimia dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Komposisi kimia serbuk yarosit hasil kopresipitasi

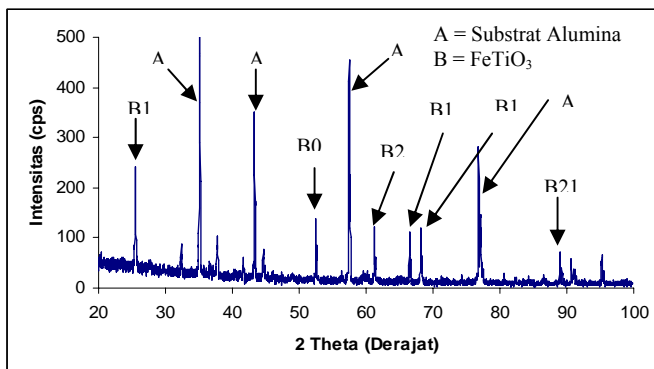
No.	Oksida	Kadar (%berat)
1.	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	92,5
2.	$\text{SiO}_2$	2,26
3.	$\text{K}_2\text{O}$	0,036
4.	$\text{Na}_2\text{O}$	0,083
5.	$\text{MnO}$	0,094

#### B. Analisis Difraksi Sinar-X (XRD)

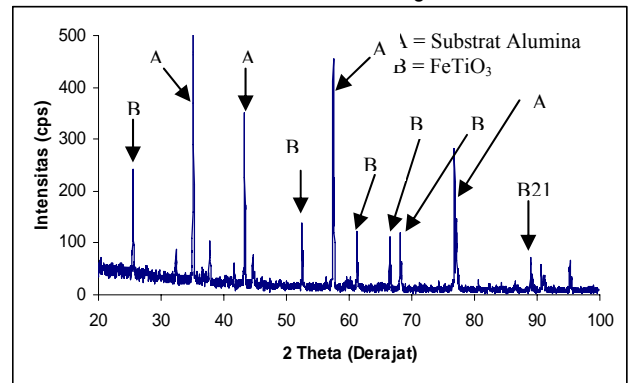
Pola difraksi sinar-x untuk keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat dan 5 % berat dari bahan yarosit ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dan 4.2. Untuk pola difraksi keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  dari bahan murni (Aldrich) dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pola difraksi keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  untuk bahan yarosit dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat.



Gambar 4 Pola difraksi keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  untuk bahan yarosit dengan konsentrasi frit gelas 5 % berat.



Gambar 5. Pola difraksi keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  untuk bahan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  murni (Aldrich) dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat.

Dengan membandingkan data pola difraksi Gambar 3, 4, dan 5 dengan data pola difraksi standar untuk *illinite Iron Titanium Oxide*,  $\text{FeTiO}_3$  (JCPDS-29-0733), diketahui bahwa termistor film tebal  $\text{FeTiO}_3$  pada konsentrasi frit gelas 2 % berat dan 5 % berat dari bahan yarosit maupun dari bahan murni (Aldrich) memiliki struktur yang sama yaitu *illinite* (heksagonal). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan frit gelas tidak merubah struktur kristal yang terbentuk. Jika dibandingkan dengan pola difraksi sinar x dengan bahan murni, pola difraksi yang dibentuk oleh serbuk mineral yarosit memiliki kesamaan, walaupun dari intensitasnya ada perbedaan tetapi tidak terlalu signifikan.

Pada pola difraksi sinar x keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$ , puncak  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan puncak  $\text{TiO}_2$  tidak tampak (dianalisis dengan pola difraksi standar  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  JCPDS 13-05345 dan  $\text{TiO}_2$  JCPDS 21-1276). Hal ini mengindikasikan bahwa selama proses sintering senyawa  $\text{TiO}_2$  masuk kedalam matriks  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Puncak tambahan yang berasal dari material ikutan seperti  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MnO}$  maupun yang berasal dari senyawa gelas tidak teridentifikasi dengan XRD karena konsentrasinya yang sangat kecil.

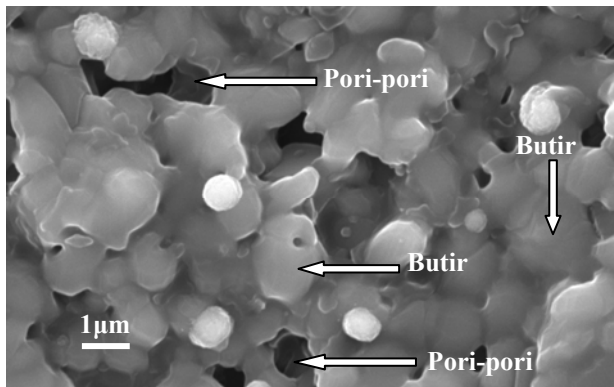
#### C. Struktur Mikro

Hasil foto struktur mikro untuk sampel keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  dari mineral yarosit dan bahan murni bermerk dagang Aldrich dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.

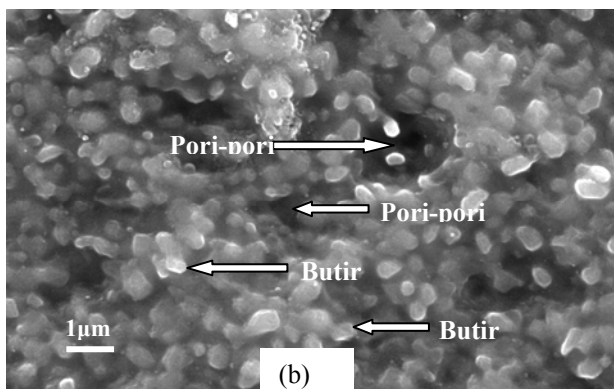
Pada Gambar 6 tampak bahwa struktur mikro keramik film tebal dari mineral yarosit dengan konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat memiliki ukuran butir yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 5 % berat. Dengan ukuran butir besar, maka penggabungan luas permukaan efektif tiap-tiap butir akan semakin besar (persentuhan antar butir akan lebih baik), menghasilkan pembesaran volume efektif dan luas penampang efektif termistor film tebal yang sangat berguna untuk mobilitas pembawa muatan. Pertumbuhan butir terhambat pada sampel dengan kandungan frit gelas 5 % berat karena senyawa gelas tidak hanya terdapat di daerah batas substrat saja tetapi juga masuk ke dalam batas butir keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$ . Masuknya senyawa gelas ke dalam batas butir, menyebabkan keramik film tebal dengan substrat saling mengikat. Semakin banyak

senyawa gelas yang diberikan maka ikatan antar keramik film tebal dengan substrat juga semakin kuat.

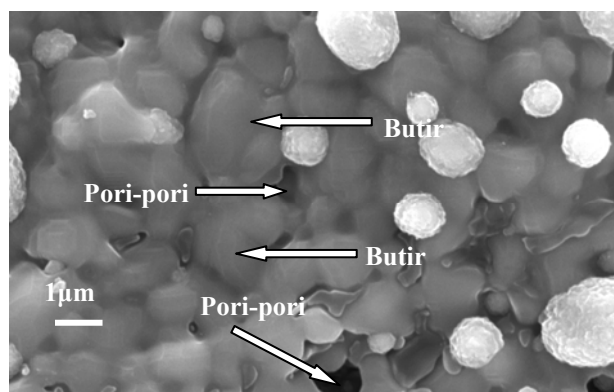
Bila dibandingkan dengan struktur mikro keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  bahan murni dengan konsentrasi frit gelas 2 % berat diketahui ukuran butir lebih besar dan pertumbuhan butiran lebih baik dibandingkan dari bahan yarasit. Akibatnya kontak antar butir menjadi baik, dan antar butir juga saling mengikat dibandingkan dengan bahan yarasit. Dari gambar juga dapat dilihat bahwa pori-pori dari bahan murni tampak lebih kecil dan sedikit, diduga karena pori-pori pada bahan yarasit terbentuk oleh adanya material ikutan yang meleleh pada suhu  $1100^\circ\text{C}$ .



(a).



(b).



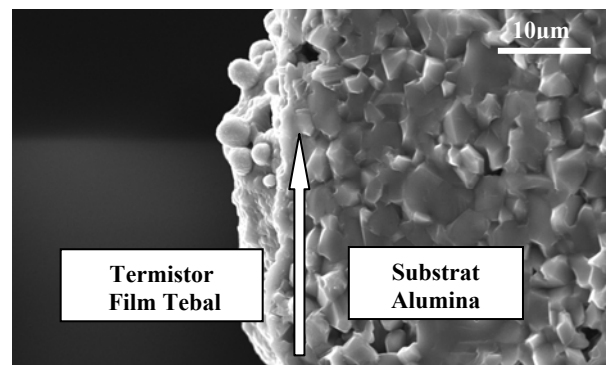
(c).

Gambar 6. Foto SEM dilihat dari permukaan (*surface*) termistor film tebal dengan (a) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan yarasit, (b) konsentrasi frit gelas sebesar 5 % berat dari bahan yarasit, (c) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan murni.

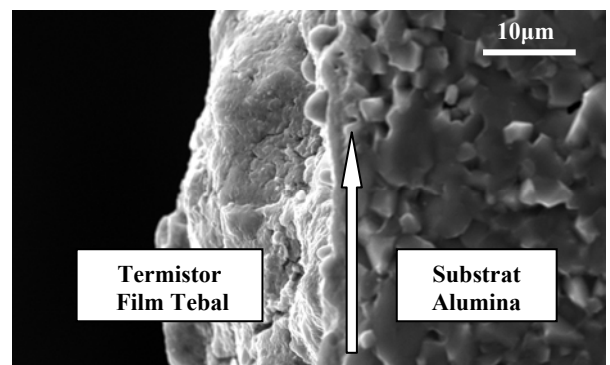
Dari hasil SEM pada sisi samping (*Cross Section*) dapat diukur ketebalan termistor film tebal. Ketebalannya tampak berbeda akan tetapi tidak signifikan karena hanya beda beberapa mikron saja. Hasil pengukurannya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2 Data ketebalan keramik film tebal  $\text{FeTiO}_3$  untuk berbagai konsentrasi frit gelas.**

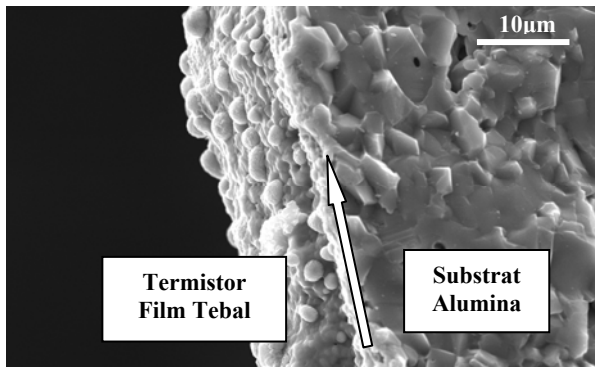
Bahan	Satuan (% berat)	Ketebalan ( $\mu\text{m}$ )
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ asal yarasit	2	$5,9 \pm 0,0$
	5	$10,1 \pm 0,2$
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ Murni	2	$9,9 \pm 0,1$



(a).



(b).



(c).

Gambar 7. Foto SEM dilihat dari sisi samping (*cross section*) termistor film tebal dengan (a) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan yarosit, (b) konsentrasi frit gelas sebesar 5 % berat dari bahan yarosit, (c) konsentrasi frit gelas sebesar 2 % berat dari bahan murni.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data yang diperoleh dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu sebagai berikut :

1. Hasil struktur mikro menunjukkan senyawa gelas yang masuk kedalam termistor film tebal  $\text{FeTiO}_3$  tidak hanya terdapat di daerah batas substrat saja akan tetapi senyawa gelas tersebut juga masuk kedalam batas butir.
2. Penambahan frit gelas dari bahan yarosit dapat menghambat pertumbuhan butir yang menyebabkan ukuran butir menjadi lebih kecil.
3. Dengan ukuran butir besar, maka penggabungan luas permukaan efektif tiap-tiap butir akan semakin besar (persentuhan antar butir akan lebih baik), menghasilkan pembesaran volume efektif dan luas penampang efektif termistor film tebal yang sangat berguna untuk mobilitas pembawa muatan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Coroundum*,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  JCPDS No. 34-1484.
- Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Ilminite Iron Titanium Oxide*,  $\text{FeTiO}_3$  JCPDS No. 29-0733.
- Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Iron Oxide*,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  JCPDS No. 13-05345.
- Anonim. Pola Difraksi Standar untuk *Titanium Oxide*. JCPDS No 21-1276.
- Anonim *Thermistor Temperature Sensors*. [Online]. Tersedia [:http://www.temperature.com](http://www.temperature.com).
- Arifin, Zaenal. (1995). *Teknologi Thick Film Hybrid Integrated Circuit*. Buletin Infolen No 2 Vol . Puslitbang Telkom-LIPI Bandung.

- Barsoum, M. (1997). *Fundamental of Ceramics*. Editions, Material science Series. Singapore:Mc Graw-Hill Companies.
- Cullity, B.D. (1956). *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Effendi, E. H. (1995). *Penelitian Pembuatan Resistor dengan Teknologi Hibrid Film Tebal*. Buletin IPT No 3 Vol. 1. Puslitbang Telkom-LIPI Bandung.
- Effendi, E. H. (1996). *Konduktor Film Tebal pada Rangkaian Hybrid-IC*. Buletin IPT No 5-6 Vol. 1. Puslitbang Telkom-LIPI Bandung.
- Gustaman, D. et al. (2004). *Karakterisasi Termistor NTC yang dibuat dari Serbuk Hasil Pengolahan Proses Kopersipitasi Magnetit Asal Garut*. Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Volume V no. 2. P3TKN-BATAN Bandung.
- Gustaman, D. et al. (2005). *Pembuatan Keramik Termistor NTC Berbahan Dasar Mineral Yarosit dan Evaluasi Karakterisasinya*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknik Nuklir. P3TKN-BATAN Bandung.
- Gustaman, D. (2006). *Studi Aplikasi Keramik ZnBiCo sebagai Termistor NTC*. Jurnal Teknik Mesin. Universitas Trisakti Jakarta
- Gustaman, D. (2005). *Komunikasi Pribadi*. P3TKN-BATAN Bandung.
- Ismunandar. (2005). *Modul Kimia Material Keramik*. Departemen Kimia FMIPA ITB.
- Julius, St. et al. (1998). *Pembuatan Konduktor Film Tebal*. ELEKTRO-INDONESIA edisi kesebelas.
- Kirk – Othmer. (1992). *Composite Material to Detergency*. Encyclopedia of Chemical Technology. Volume 7. Fourth Edition. John Wiley & Sons Inc.
- Lubis, Haris. (1995). *Mengapa Komponen Hybrid IC*. Buletin Infolen No 2 Vol.1 Puslitbang Telkom-LIPI Bandung.
- Pallas, R., et al. (1991). *Sensor and signal conditioning*. A Wiley-Interscience Publication.
- Van Vlack. H.L. (2001). *Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material (terjemahan Sriati Djaprie)*. Edisi keenam. Jakarta : Erlangga.

# Perancangan dan Analisis Transformator *Zero Sequence Blocking* untuk Mengurangi Arus Harmonisa Urutan Nol pada Sistem Distribusi Daya Tiga Fasa Empat Kawat

Zulkarnaen Pane<sup>1</sup>, Syiska Yana<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan,  
e-mail: zulkarnaen\_pane@yahoo.com

<sup>2</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Medan, e-mail: syiska\_yana@yahoo.com

**Abstrak**— Pada penelitian ini dirancang sebuah transformator *zero sequence blocking* dengan menggunakan tiga buah transformator satu fasa yang bertujuan untuk mengurangi arus harmonisa urutan nol pada sistem distribusi daya tiga fasa empat kawat. Transformator *zero sequence blocking* (TZSB) dipasang seri pada jala-jala di sisi sumber. Transformator ini dirancang berdasarkan data pengukuran arus harmonisa urutan nol pada sistem sebelum menggunakan transformator untuk kondisi beban seimbang. Beban yang digunakan adalah beban non linier berupa lampu hemat energi. Dari hasil pengukuran diperoleh, arus harmonisa urutan nol sebesar 1.965 A. Setelah menggunakan TZSB maka diperoleh arus harmonisa urutan nol sebesar 0.126 A. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa TZSB berhasil mengurangi arus harmonisa urutan nol pada sistem distribusi daya tiga fasa empat kawat sebesar 93.6%.

**Index Terms**— beban non linear, harmonisa, transformator *zero sequence blocking*

## I. PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan secara umum terbagi atas tiga bagian Utama yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi. Daya listrik dibangkitkan oleh sistem pembangkit kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi dengan tegangan tinggi kemudian disalurkan ke konsumen-konsumen melalui sistem distribusi tiga fasa empat kawat. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat melayani beban-beban tiga fasa dan satu fasa yang dipasang antara fasa dan netral. Jenis beban yang bervariasi sering menimbulkan berbagai permasalahan atau gangguan pada sistem kelistrikan. Jenis beban yang sering menjadi penyebab munculnya gangguan pada kualitas daya pada sistem kelistrikan adalah beban non linear. Beban non linear merupakan beban listrik yang mengandung komponen semikonduktor, yang dalam operasinya menyebabkan perubahan bentuk gelombang dan frekuensi pada sistem kelistrikan. Gangguan kelistrikan yang sering disebabkan oleh beban non linear ini salah satunya adalah harmonisa. Harmonisa merupakan tegangan atau arus yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamental, dimana

frekuensi fundamental tersebut sebesar 50 Hz atau 60 Hz [1].

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mengurangi kandungan harmonisa pada sistem kelistrikan antara lain penggunaan filter pasif, filter aktif dan transformator [2]. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah transformator *zero sequence blocking* dengan menggunakan tiga buah transformator satu fasa untuk mengurangi arus harmonisa urutan nol pada sistem distribusi daya tiga fasa empat kawat. Ketiga transformator satu fasa tersebut mempunyai jumlah belitan pada sisi primer dan sekunder yang sama, dihubungkan paralel lalu dipasang seri pada jala-jala di sisi sumber untuk mencegah mengalirnya arus harmonisa urutan nol dari beban ke sumber.

## II. METODE PENGURANGAN ARUS HARMONISA URUTAN NOL YANG DIUSULKAN

Metode yang dilakukan untuk mengurangi harmonisa pada sistem distribusi tenaga listrik secara umum dilakukan dengan tiga cara [1]:

1. Menghindari akibat harmonisa secara langsung pada komponen sistem yang bersangkutan,
2. Mengurangi arus harmonisa di sisi jala-jala sistem
3. Mengurangi kandungan arus harmonisa pada sumbernya.

Pengurangan arus harmonisa urutan nol yang diusulkan pada penelitian ini dilakukan pada jala-jala sistem dengan menggunakan Transformator *zero sequence blocking* (TZSB). TZSB adalah suatu peralatan elektromagnetik yang digunakan untuk menahan komponen arus urutan nol. TZSB mempunyai impedansi yang besar terhadap komponen arus urutan nol dan mempunyai impedansi yang kecil terhadap komponen arus urutan positif dan negatif.

Ditinjau dari cara menggulung kumparannya, ada tiga jenis TZSB yaitu [3]:

- a. Digulung pada inti bentuk E
- b. Digulung pada inti toroidal
- c. Menggunakan tiga buah transformator satu fasa

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi TZSB dengan tiga buah transformator satu fasa yang dihubungkan paralel.

Tegangan pada tiap kumparan, misalnya  $v_a$ , dihitung dengan menggunakan hukum Faraday:

$$v_a = L \frac{di_a}{dt} + L_0 \frac{di_b}{dt} + L_0 \frac{di_c}{dt} \quad (1)$$

di mana,

$L$  = induktansi sendiri fasa a, diasumsikan sama untuk semua kumparan,

$L_0$  = induktansi bersama antar kumparan.

Sementara itu induktansi sendiri ( $L$ ) terdiri dari induktansi bocor kumparan ( $L_{lk}$ ) dan induktansi bersama ( $L_0$ ) atau  $L = L_{lk} + L_0$  sehingga Persamaan (1) dapat juga dinyatakan sebagai:

$$v_a = L_{lk} \frac{di_a}{dt} + L_0 \frac{d}{dt} (i_a + i_b + i_c)$$

(2)

Pada sistem tiga fasa empat kawat arus urutan nol mempunyai amplitudo dan sudut fasa yang sama sehingga dapat dinyatakan sebagai:

$$i_0 = \frac{(i_a + i_b + i_c)}{3} = i_{0a} = i_{0b} = i_{0c} \quad (3)$$

Dengan menganggap distribusi kumparan simetris, induktansi sendiri dan induktansi bersama untuk semua kumparan mempunyai nilai yang sama sehingga arus terbagi sama. Oleh karena itu dengan menggunakan Persamaan (2) dan (3), tegangan yang diinduksikan oleh arus urutan nol ke seluruh tiga fasa adalah:

$$v_0 = L_{lk} \frac{di_0}{dt} + 3L_0 \frac{di_0}{dt} \quad (4)$$

Dengan pertimbangan bahwa induktansi bersama jauh lebih besar dari induktansi bocor sehingga induktansi bocor ini dapat diabaikan maka impedansi TZSB untuk komponen arus urutan nol adalah:

$$Z_0 = (L_{lk} + 3L_0)\omega \approx 3L_0\omega \quad (5)$$

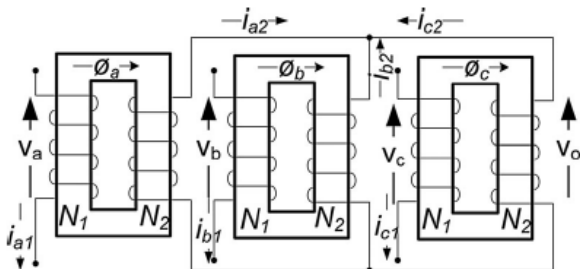
di mana  $\omega$  adalah frekuensi sudut.

Arus urutan positif dan negatif adalah komponen arus sinusoidal yang membentuk sistem tiga fasa seimbang, mempunyai pergeseran fasa sebesar  $120^\circ$  dan mempunyai magnitude yang sama. Jadi, jumlah arus fasa sesaat selalu nol. Impedansi TZSB untuk arus urutan positif dan negatif dapat diturunkan dari Persamaan (2):

$$Z_{12} = L_{lk}\omega \quad (6)$$

Dengan demikian TZSB memberikan tiga kali induktansi bersama untuk arus urutan nol dan hanya induktansi bocor untuk arus urutan positif dan negatif. Perlu diketahui bahwa induktansi bersama jauh lebih besar dari induktansi bocor.

Rangkaian umum TZSB yang menggunakan tiga buah transformator satu fasa ditunjukkan pada Gambar 1. Sisi primer mempunyai belitan ( $N_1$ ) yang sama dengan sisi sekunder ( $N_2$ ) atau mempunyai perbandingan belitan 1:1. Masing-masing sisi primer dihubungkan seri antara sumber dan beban sedangkan sisi sekunder dihubungkan paralel.



Gambar 1. Konfigurasi TZSB dengan tiga buah transformator satu fasa

Keuntungan dari TZSB dengan konfigurasi seperti ini adalah sederhana dalam pembuatannya, sehingga cocok

digunakan untuk daya besar [3]. Pada penggunaan daya besar, arus yang mengalir pada kumparan relatif besar sehingga memerlukan ukuran konduktor yang besar pula. Sehingga untuk memastikan bahwa komponen arus urutan positif dan negatif tidak menghasilkan flux maka diperlukan distribusi kumparan yang simetris [4,5]. Jadi kumparan harus digulung secara merata dan hal ini sulit dilakukan pada TZSB jenis yang lain.

### III. PERANCANGAN TRANSFORMATOR ZERO SEQUENCE BLOCKING

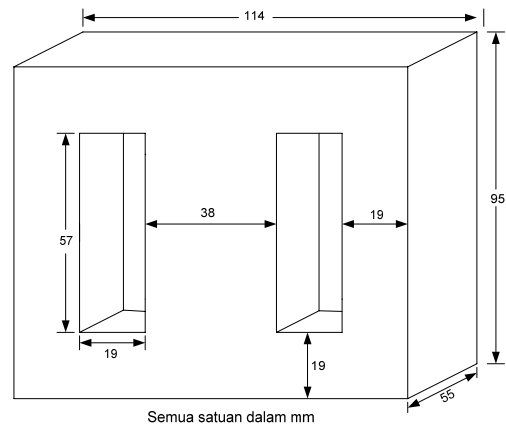
Transformator *zero sequence blocking* yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga buah transformator satu fasa masing-masing dengan rancangan spesifikasi sebagai berikut:

1. Tegangan kumparan: 127 V/127 V
2. Kapasitas: 300 VA
3. Perbandingan belitan 1 : 1

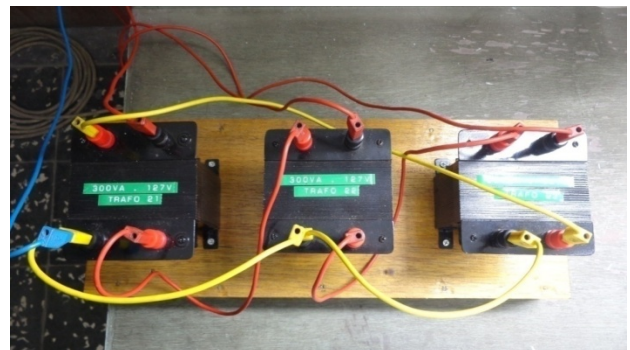
Konstruksi inti dari transformator *zero sequence blocking* ditunjukkan pada Gambar 2. Bahan inti (core) adalah silikon steel. Data-data fisik kumparannya adalah sebagai berikut:

- jumlah belitan = 301
- diameter kawat = 1 mm
- panjang belitan = 65,5 mm

Prototipe transformator *zero sequence blocking* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Konstruksi dan dimensi inti transformator zero sequence blocking



Gambar 3. Transformator zero sequence blocking

Untuk memastikan apakah transformator yang dirancang ini dapat digunakan sebagai transformator *zero sequence blocking* terlebih dahulu perlu diketahui impedansi urutan nolnya. Impedansi urutan nol ini merupakan impedansi magnetik dari tranformator satu fasa.

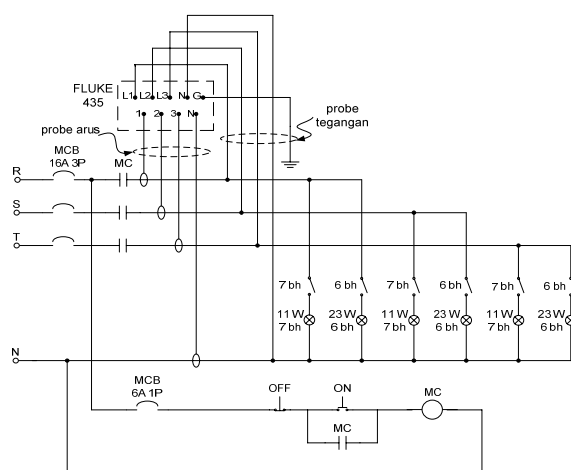


## V. HASIL PENGUKURAN

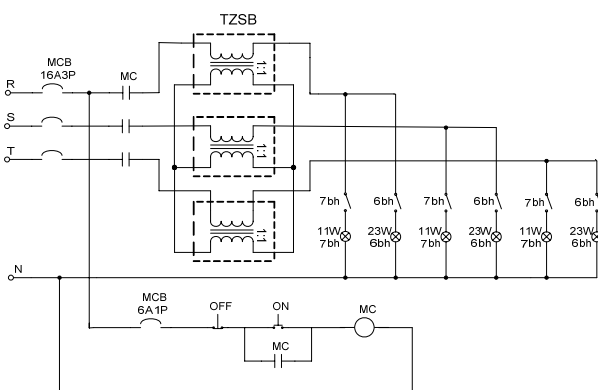
Suatu transformator *zero sequence blocking* harus memiliki impedansi urutan nol yang besar. Sesuai dengan hasil pengujian *open circuit test* dan *short circuit test* yang dilakukan pada transformator satu fasa yang akan digunakan sebagai transformator *zero sequence blocking* diperoleh impedansi urutan nolnya rata-rata adalah 1111,86 ohm. Berdasarkan fakta ini dapat diputuskan bahwa transformator satu fasa 300 VA, 127/127 V dapat digunakan sebagai transformator *zero sequence blocking*.

## IV. EKSPERIMEN

Untuk membuktikan keberhasilan TZSB dalam mengurangi arus harmonisa urutan nol pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat dilakukan eksperimen di Laboratorium. Sebagai beban digunakan beban nonlinear berupa sejumlah lampu hemat energi dengan total daya 215 Watt perfasa. Ada dua tahap eksperimen yang dilakukan yaitu sebelum dan sesudah menggunakan TZSB. Gambar rangkaian eksperimen untuk tahap pertama dan kedua berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk merekam dan mengukur bentuk gelombang dan spektrum tegangan, arus dan parameter lainnya digunakan satu unit alat ukur *Power Quality Analyzer*. Untuk penyederhanaan, diagram pengukuran pada Gambar 4b sengaja tidak digambarkan, karena prinsipnya sama dengan yang terdapat pada Gambar 4a.



a. Sebelum menggunakan TZSB



b. Setelah menggunakan TZSB

Gambar 4 Rangkaian eksperimen

Pengukuran dilakukan dalam dua tahapan yaitu sebelum terhubung dengan TZSB dan setelah terhubung dengan TZSB. Sebelum terhubung dengan TZSB diperoleh hasil pengukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran besaran-besaran listrik sebelum menggunakan TZSB

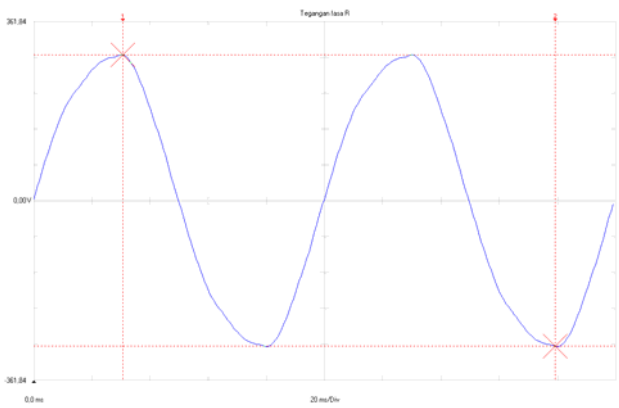
Besaran	Phasa R	Phasa S	Phasa T	Netral
Frekuensi (Hz)	50,048			
Tegangan rms (V)	210,80	212,30	213,02	0,69
Arus rms (A)	1,190	1,175	1,215	1,965
THD Tegangan (%)	5,6	5,7	5,6	
THD arus (%)	72,4	75,1	72,8	6220
Daya aktif (W)	186,4	183,4	194,2	
Daya reaktif (VAR)	73,0	72,8	72,5	
Daya semu (VA)	200,2	197,3	207,3	
Cos $\phi$ (DPF)	0,93	0,93	0,94	
Power Factor	0,72	0,71	0,73	

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa tegangan masing-masing fasa ke netral dan arus jala-jala sistem untuk masing-masing fasa R, S dan T adalah relatif seimbang. Akan tetapi meskipun bebannya seimbang namun pada netral mengalir arus yang besar bahkan lebih besar dari arus fasa. Persentase perbandingan antara arus netral terhadap arus fasa cukup besar nilainya yaitu 165 %, jadi nilainya jauh dari yang diizinkan yakni hanya 20 % [6]. Hal ini disebabkan karena beban satu fasa yang digunakan dalam eksperimen ini berupa lampu hemat energi yang merupakan klasifikasi beban nonlinear yang merupakan sumber harmonisa. Arus netral yang besar yang melebihi arus fasa perlu mendapat perhatian karena dapat menimbulkan panas berlebihan pada kabel dan tegangan yang besar antara netral dan bumi yang jika melampaui nilai tertentu dapat merusak peralatan-peralatan elektronik.

Tingkat kandungan harmonisa (THD) tegangan pada masing-masing fasa adalah 5,6 %, jadi sedikit lebih tinggi dari yang diizinkan oleh IEEE Std. 519 – 1992 dan THD arus di fasa-fasa sistem cukup tinggi yaitu rata-rata sebesar 72,4 %. Pada netral nilai ini lebih tinggi lagi yaitu sebesar 6220,5%, artinya akar pangkat dua dari jumlah kuadrat dari masing masing arus harmonisa pada netral mencapai hampir 62 kali dari arus fundamentalnya. Hal ini dapat dimaklumi karena pada penghantar netral mengalir arus harmonisa urutan nol yang besar, jauh lebih besar dari yang terdapat pada penghantar fasa.

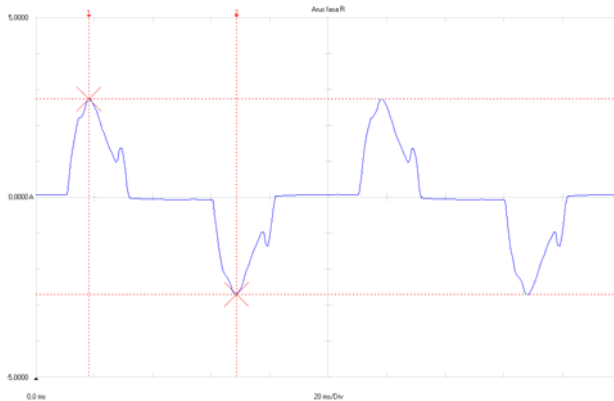
Faktor daya sistem sangat rendah yaitu hanya 0,72 dan dengan faktor pergeseran fasa (*displacement power factor*) atau cos  $\phi$  hampir mendekati satu yakni 0,93. Faktor daya merupakan perbandingan antara daya aktif (W) dengan daya total (VA) termasuk kontribusi dari semua komponen harmonisa. Sedangkan cos  $\phi$  adalah perbandingan antara daya aktif dengan daya total pada frekuensi fundamental.

Bentuk gelombang tegangan fasa (diambil fasa R) ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat bahwa gelombang tegangan tersebut tidak lagi sinusoidal murni namun sudah terdistorsi. Gelombang yang mengalami distorsi mengandung harmonisa.



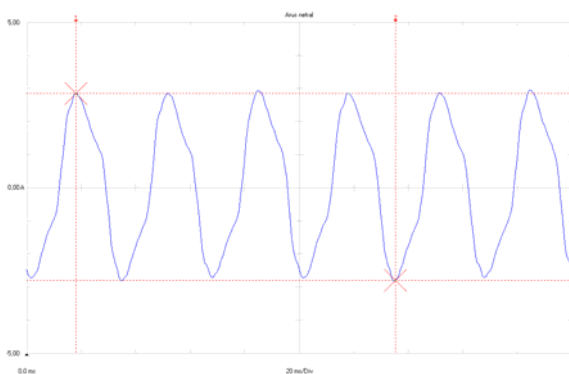
Gambar 5 Bentuk gelombang tegangan fase sebelum menggunakan TZSB

Terdistorsinya bentuk gelombang tegangan disebabkan karena bentuk gelombang arus fase yang terdistorsi seperti ditunjukkan pada Gambar 6. Distorsi harmonisa total (THD) pada arus fase adalah 72,4 %. Jadi dapat ditegaskan bahwa arus yang ditimbulkan oleh beban nonlinear akan mengalami distorsi dan selanjutnya akan menimbulkan distorsi pada gelombang tegangan.



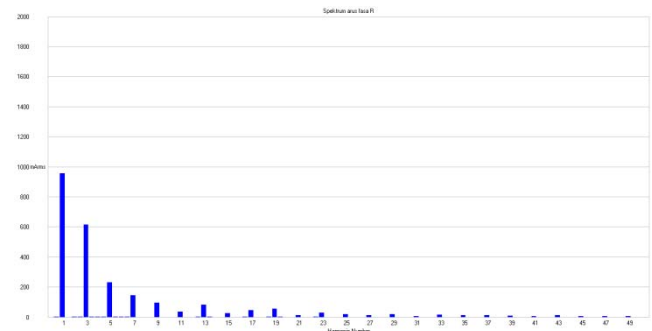
Gambar 6 Bentuk gelombang arus fase sebelum menggunakan TZSB

Arus pada penghantar netral juga mengalami distorsi seperti dapat dilihat pada Gambar 7 dengan distorsi harmonisa total (THD) adalah 6220,5 %. Disamping terdistorsi, frekuensi arus netral berbeda dengan frekuensi arus fase. Frekuensi arus netral tiga kali frekuensi arus fase.



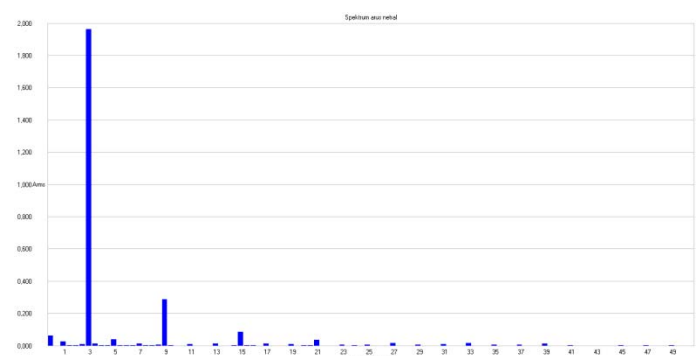
Gambar 7 Bentuk gelombang arus netral sebelum menggunakan TZSB

Untuk mengetahui kandungan harmonisa pada arus fase dan netral dapat dilihat dari Gambar 8 dan 9, berturut-turut memperlihatkan spektrum arus fase R dan netral. Pada fase, disamping terdapat arus fundamental (harmonisa orde 1), terdapat pula sejumlah arus harmonisa dari orde ganjil yaitu orde 3, 5, 7, 9 dan seterusnya. Kehadiran arus harmonisa ini akan memperbesar arus yang mengalir pada fase dan netral. Komponen arus harmonisa yang paling besar adalah arus harmonisa orde 3. Arus harmonisa orde 3 dan kelipatannya terhadap bilangan ganjil disebut juga arus harmonisa urutan nol, sementara itu arus harmonisa orde 7, 13, 19, dan seterusnya disebut arus harmonisa urutan positif sedangkan arus harmonisa orde 5, 11, 17 dan seterusnya disebut arus harmonisa urutan negatif.



Gambar 8 Spektrum arus fase R sebelum menggunakan TZSB

Pada sistem distribusi tiga fase empat kawat, arus yang mengalir pada penghantar netral merupakan hasil penjumlahan dari ketiga arus fase. Arus harmonisa urutan positif dan negatif pada masing-masing fase dijumlahkan secara vektor sedangkan arus harmonisa urutan nol dijumlahkan secara aljabar. Akibatnya pada penghantar netral hanya mengalir arus harmonisa urutan nol saja sementara komponen arus harmonisa urutan positif dan negatif saling meniadakan. Karena ia dijumlahkan secara aljabar maka arus harmonisa urutan nol pada penghantar netral adalah tiga kali arus harmonisa urutan nol pada fase. Hal inilah yang menyebabkan arus pada netral dapat lebih besar dari arus fase seperti telah ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 9 Spektrum arus netral sebelum menggunakan TZSB

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa arus harmonisa urutan nol mendominasi arus netral. Kontribusi arus harmonisa urutan nol pada penghantar netral secara analitis dapat dihitung sebagai berikut:

- Total arus rms yang terukur pada netral ( $I_{rms}$ ) = 1,965 A
- Arus fundamental pada netral ( $I_{50Hz}$ ) = 0,028 A (dari Gambar 9)

sehingga arus harmonisa urutan nol pada netral adalah

$$I_0 = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{50Hz}^2}$$

$$= \sqrt{1,965^2 - 0,028^2}$$

$$= 1,964 \text{ A}$$

Jadi dapat dikatakan bahwa arus yang mengalir pada netral didominasi oleh arus harmonisa urutan nol saja. Karena arus urutan nol yang terdapat pada penghantar netral berasal dari arus fasa maka untuk mengurangi arus netral dapat dilakukan dengan mengurangi arus urutan nol pada fasa sistem distribusi tiga fasa empat kawat. Upaya ini akan dilakukan dengan menggunakan transformator *zero sequence blocking* yang dipasang seri antara sumber dan beban.

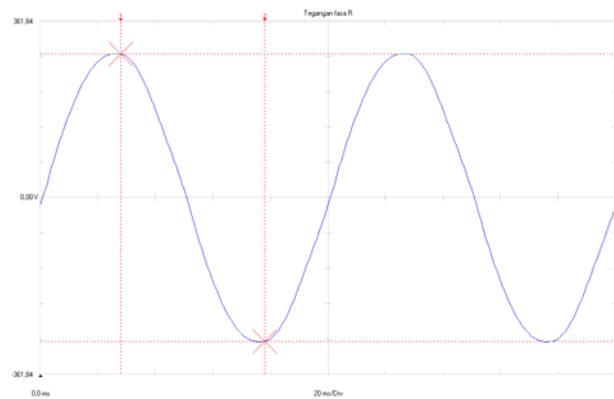
Hasil pengukuran setelah terhubung dengan TZSB dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengukuran besaran-besaran listrik setelah menggunakan TZSB

Besaran	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Netral
Frekuensi (Hz)	50,095			
Tegangan rms (V)	211,74	213,24	214,26	0,13
Arus rms (A)	1,107	1,061	1,098	0,126
THD Tegangan (%)	1,4	1,3	1,2	
THD arus (%)	75,0	76,6	76,1	1320
Daya aktif (W)	178,8	172,1	177,6	
Daya reaktif (VAR)	51,3	49,9	57,1	
Daya semu (VA)	186,0	179,2	186,6	
Cos $\phi$ (DPF)	0,96	0,96	0,95	
Power Factor	0,77	0,77	0,76	

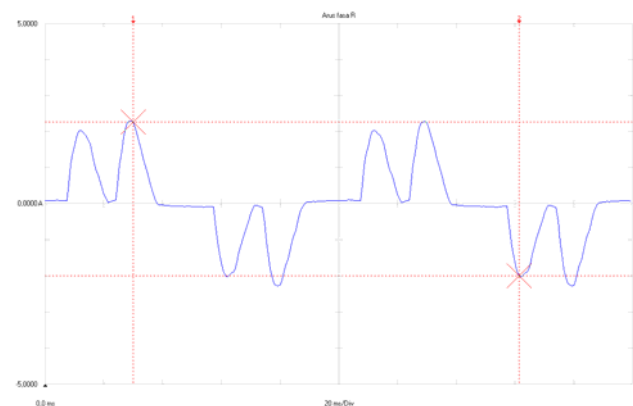
Dari data hasil pengukuran terlihat bahwa nilai arus rms pada masing-masing fasa R, S dan T berturut-turut adalah 1,107 A, 1,061 A dan 1,098 A. Jadi setelah pemasangan TZSB terjadi pengurangan arus pada setiap fasa rata-rata 8,8 %. Pengurangan arus fasa ini berdampak pada pengurangan arus netral secara drastis dari 1,965 A pada keadaan semula menjadi 0,126 A. Ini berarti telah terjadi pengurangan arus netral sebesar 93,6 %. Persentase perbandingan antara arus netral dengan arus fasa sekarang menjadi 11,5 %. Nilai ini sudah jauh berada di bawah nilai 20 % dan 50 % masing-masing seperti yang diusulkan oleh Liew dan PUIL 2000. Setelah menggunakan TZSB terjadi perbaikan pada *power factor* dan Cos  $\phi$  (DPF) yakni dari 0,72 menjadi 0,77 untuk *power factor* dan dari 0,93 menjadi 0,96 untuk Cos  $\phi$  (DPF). Penggunaan TZSB juga berdampak pada penurunan konsumsi daya listrik: daya aktif, daya reaktif dan daya semu.

Bentuk gelombang tegangan fasa (diambil fasa R) setelah penggunaan TZSB ditunjukkan pada Gambar 10. Terlihat bahwa gelombang tegangan tersebut sudah benar-benar hampir sinusoidal jadi sudah tidak terdistorsi. Berdasarkan Tabel 2 distorsi harmonisa total (THD) pada tegangan turun menjadi 1,3 %.

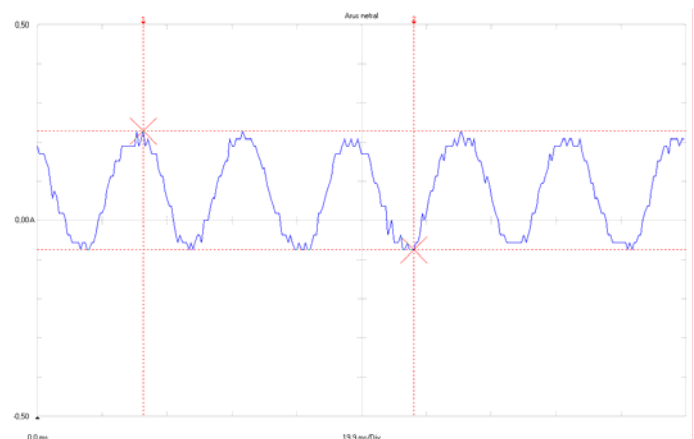


Gambar 10 Bentuk gelombang tegangan fasa setelah menggunakan TZSB

Bentuk gelombang arus fasa dan netral masih terdistorsi seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12. Bagaimanapun hal ini tidak mungkin dihindarkan karena merupakan karakteristik dari arus yang dihasilkan oleh beban-belan nonlinear. Lagi pula upaya pengurangan harmonisa yang dilakukan adalah pada penghantar fasa bukan pada beban. Meskipun terdistorsi namun nilai rms arus fasa dan netral sudah berkurang.



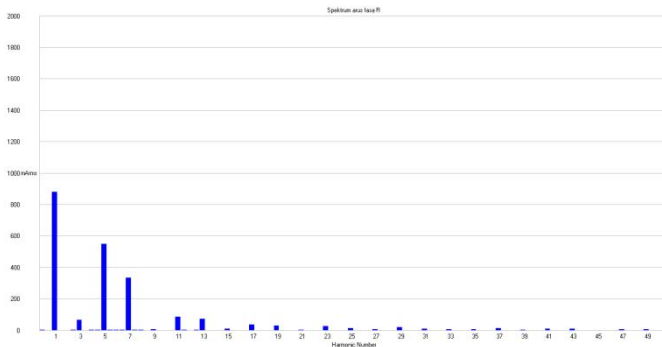
Gambar 11 Bentuk gelombang arus fasa setelah menggunakan TZSB



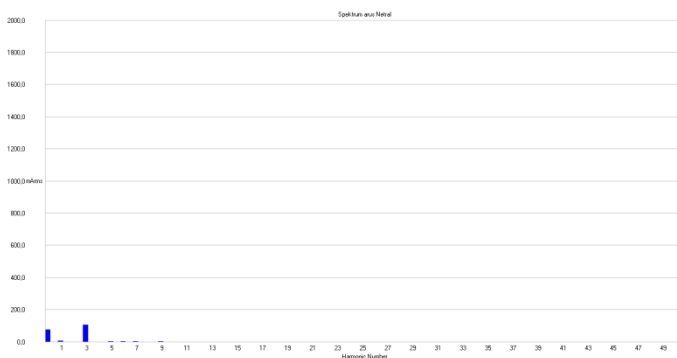
Gambar 12 Bentuk gelombang arus netral setelah menggunakan TZSB

Untuk mengetahui kandungan harmonisa pada arus fasa dan netral setelah menggunakan TZSB dapat dilihat dari Gambar 13 dan 14, berturut-turut memperlihatkan spektrum arus fasa R dan netral. Pada fasa, masih terdapat sejumlah arus harmonisa urutan positif (orde 7 dan 13) dan

arus harmonisa urutan negatif (orde 5 dan 11) yang cukup signifikan. Namun arus harmonisa urutan nol (arus harmonisa orde 3 dan kelipatannya terhadap bilangan ganjil) sudah jauh berkurang. Pengurangan ini dapat terjadi karena TZSB mempunyai impedansi urutan nol yang besar dan impedansi urutan positif dan negatif yang kecil sehingga mampu memblokir aliran arus harmonisa urutan nol dari beban ke sumber dan melalukan aliran arus harmonisa urutan positif dan negatif mengalir dari beban ke sumber. Ini membuktikan bahwa penggunaan TZSB berhasil mengurangi arus harmonisa urutan nol.



Gambar 13 Spektrum arus fase R setelah menggunakan TZSB



Gambar 14 Spektrum arus netral setelah menggunakan TZSB

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa arus harmonisa urutan nol sudah jauh berkurang dibandingkan dengan sebelum menggunakan TZSB. Besarnya arus harmonisa urutan nol pada penghantar netral secara analitis dapat dihitung sebagai berikut:

- Total arus rms yang terukur pada netral ( $I_{rms}$ ) = 0,126 A
- Arus fundamental pada netral ( $I_{50Hz}$ ) = 0,008 A (dari Gambar 14)

sehingga arus harmonisa urutan nol pada netral adalah

$$\begin{aligned}
 I_0 &= \sqrt{I_{rms}^2 - I_{50Hz}^2} \\
 &= \sqrt{0,126^2 - 0,008^2} \\
 &= 0,126 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Jika dibandingkan dengan sebelum menggunakan TZSB, maka dapat dipastikan bahwa setelah menggunakan TZSB terjadi pengurangan arus harmonisa urutan nol dari 1,964 A menjadi 0,126 A atau dengan kata lain terjadi pengurangan sebesar 93,6 %. Hal ini membuktikan, sekali lagi, bahwa penggunaan TZSB pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat sangat efektif dalam mengurangi arus harmonisa

urutan nol. Dengan berkurangnya arus harmonisa urutan nol berarti berkurang pula arus netral.

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Transformator zero sequence blocking lebih sederhana, lebih murah dan cukup andal penggunaannya daripada filter aktif dan filter pasif LC karena tidak memerlukan kontrol elektronik dan penalaan.
2. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa transformator zero sequence blocking dapat mengurangi arus harmonisa urutan nol hingga 93,6 %.
3. Transformator zero sequence blocking tidak hanya mampu mengurangi arus harmonisa orde ke 3 saja tapi seluruh arus harmonisa orde kelipatan bilangan ganjil terhadap 3.

## ACKNOWLEDGMENT

Terimakasih kami sampaikan kepada Lembaga Penelitian Universitas Sumatera Utara yang telah memberikan kesempatan dan bantuan dana untuk penelitian kami ini, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan. Semoga penelitian ini dapat memberi manfaat dan kontribusi positif bagi bidang keilmuan Teknik Elektro dan masyarakat.

## REFERENCES

- [1] Dugan, Roger C. dkk. 2004, *Electric Power System Quality*, Edisi Kedua. McGraw-Hill.
- [2] Bhim Sing, P. Jayaprakash and D P Khotari, *Magnetic for Neutral Current Compensation in Three-Phase Four-Wire Distribution System*, IEEE, 2010.
- [3] Aitor Laka, Jon Andoni Barrena, Javier Chivite-Zabalza, Miguel Angel Rodriquez Vidal, 2013, *Novel Zero-Sequence Blocking Transformer (ZSBT) Using Three Single-Phase Transformers*, IEEE Trans on Energy Conversion, Vol. 28, No. 1, March
- [4] Jose Manuel Cono Rodriguez, Gonzalo Alonso Orcajo, Carlos Hiram Rojas Garcia, Manuel Garcia Melero, Manes Fernandez Cabanas and Francisco Pedrayes Gonzalez, 2007 *Analysis of the Effect Caused by Structural Asymmetries in the Performance of Three-Limb Core Three-Phase Inductive Filters*, IEEE Transaction On Energy Conversion, Vol. 22, No.3, September.
- [5] Qipeng Song, Zhongdong Yin, Jinhui Xue and Lixia Zhou, 2008, *Zero-Sequence Harmonic Current Minimization Using Zero-Blocking Reactor and Zig-zag Transformer*, DRPT2008 6-9 April, Nanjing China.
- [6] Ah-Choy Liew, *Excessive Neutral Current in Three-Phase Fluorescent Lighting Circuits*, IEEE Transactions On Industry Application, Vol. 25, No. 4, July/August 1989.

# Pengujian Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Heri Haryanto<sup>1)</sup>, Angga Priyatna<sup>2)</sup>, Ri Munarto<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
 Cilegon-Indonesia 42414  
 e-mail : elektrojos@yahoo.com

**Abstrak**—Dewasa ini masyarakat Indonesia mulai mengembangkan pemanfaatan energi angin melalui Pembangkit Listrik Tenaga Bayu ( PLTB ) sederhana dengan generator sinkron magnet permanen sebagai generator turbin anginnya guna mengurangi ketergantungan penggunaan energi fosil. Sebelum PLTB tersebut digunakan maka perlu adanya pengujian. Pada penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik generator dan kehandalannya pada modul PLTB dalam mengkonversi energi angin baik saat kondisi direct drive maupun dengan penambahan sprocket rantai untuk proses pengisian baterai. Hasil pengujian menunjukkan dengan putaran 293 rpm generator menghasilkan tegangan 10,3 Volt, arus 0,4 Ampere, daya 8,019 Watt dengan efisiensi 67,843% dan menghasilkan tegangan 10,98 Volt, arus 3,1 Ampere, daya 58,886 Watt dengan efisiensi 60,815% pada putaran 780 rpm. Modul PLTB direct drive mempunyai kecepatan cut-in 2,148 m/s dan pada kecepatan angin 7,889 m/s turbin angin berputar 258 rpm menghasilkan tegangan 9,981 Volt, arus 0,239 Ampere, daya 4,124 Watt dengan efisiensi 5,782%. Sedangkan dengan penambahan sprocket rantai roda gigi dengan rasio 3:1, kecepatan cut-in menjadi 5,89 m/s dan pada kecepatan angin 7,089 m/s turbin angin berputar 85 rpm menghasilkan tegangan 10,02 Volt, arus 0,193 Ampere, daya 3,338 Watt dengan efisiensi 7,453%. Berdasarkan hasil tersebut maka modul PLTB yang lebih baik untuk pengisian baterai adalah modul PLTB dengan penambahan sprocket rantai roda gigi dengan rasio 3:1.

**Kata kunci :** Generator, tegangan, arus, daya, efisiensi, rpm.

## I. PENDAHULUAN

Energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami deplesi (*depletion* : kehabisan, menipis). Oleh karena itu sangat diperlukan pemanfaatan energi terbarukan untuk menyelamatkan dunia dari krisis energi fosil. Di Indonesia sendiri pemanfaatan energi terbarukan seperti air, angin, biomasa, panas bumi, surya dan samudera belumlah optimal. Untuk energi angin, organisasi MEAI (Masyarakat Energi Angin Indonesia) menyebutkan bahwa pemanfaatan energi angin pada tahun 2011 hanya mencapai sekitar 2 MW dari total 9,2 GW potensi energi angin yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan dan penelitian di bidang energi angin itu sendiri sangat kurang di Indonesia.

Salah satu permasalahan yang menjadi hambatan berkembangnya PLTB di Indonesia adalah pada generator. Generator yang khusus digunakan pada teknologi PLTB belum banyak tersedia di pasaran, dan jika ingin membuat generator tersebut membutuhkan biaya yang tidak murah. Akan tetapi dengan segala keterbatasan yang ada dan dengan dibarengi kreativitas yang tinggi, dewasa ini ada beberapa industri rumah tangga yang mencoba membuat dan mengembangkan modul PLTB sederhana yang bisa dikatakan murah. Generator yang digunakan ialah memanfaatkan generator bekas industri dan turbin anginnya sendiri menggunakan bahan yang tersedia di lingkungan sekitar seperti plat seng, kayu kaso, dsb.

Sebelum PLTB digunakan maka sangat diperlukan pengujian untuk mengetahui kehandalan dari PLTB tersebut, mulai pada karakteristik generatormya sendiri sampai pada karakteristik PLTB dalam mengkonversi energi angin. Pada penelitian ini akan melakukan pengujian terhadap modul PLTB untuk mendapatkan karakteristik dari modul PLTB dan bagaimana kehandalannya serta mengupayakan perancangan-perancangan tambahan yang sekiranya dibutuhkan untuk dapat mengoptimalkan kinerja modul PLTB tersebut. Modul PLTB ini memanfaatkan generator bekas industri dan dengan turbin angin sederhana yang terbuat dari plat seng.

## II. METODE PENELITIAN

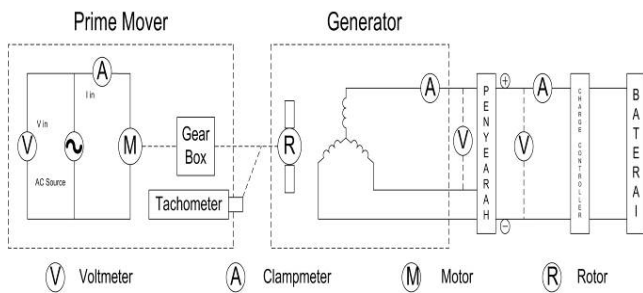
### A. Umum

Proses penelitian terbagi dalam beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah studi literatur untuk mencari dasar teori yang berkaitan dengan generator, PLTB, dan bagaimana prosedur pengujiannya. Tahapan kedua yaitu melakukan pengujian generator saat tanpa beban dan pada saat berbeban baterai. Pengujian ini menggunakan bantuan sebuah motor AC tiga fasa sebagai *prime mover*. Tahap ketiga ialah pengujian generator tersebut pada modul PLTB sederhana *direct drive* yang terhubung ke baterai. Modul PLTB ini digunakan untuk pengisian baterai. Setelah data didapatkan, tahap keempat yaitu pengujian generator pada modul PLTB dengan penambahan *sprocket* rantai roda gigi dengan rasio 3:1 yang juga terhubung ke baterai. Tahap kelima adalah analisa terhadap data yang didapat seperti tegangan keluaran, arus keluaran, daya yang dihasilkan dan efisiensi generator, serta dilanjutkan dengan menganalisa

modul PLTB mana yang lebih optimal untuk pengisian baterai. Kemudian tahapan yang terakhir adalah membuat kesimpulan dari data hasil pengujian dan analisa yang dilakukan.

**B. Pengujian Karakteristik Generator**

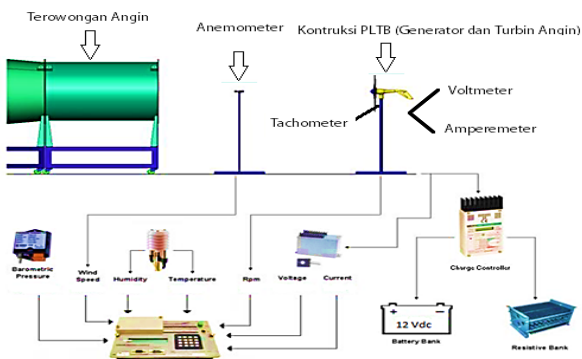
Pada pengujian ini generator dikopel dan diputar dengan menggunakan *prime mover* berupa motor AC tiga fasa. Data yang diambil adalah daya masukan ke *prime mover* yang nantinya akan merujuk pada daya masukan ke generator, serta kecepatan putar generator terhadap tegangan keluaran dan arus keluaran. Dari kedua data itu akan diketahui berapa besar daya yang dihasilkan dan berapa efisiensi dari generator tersebut.



Gambar 1. Diagram Block Pengujian Generator

**C. Pengujian Modul PLTB**

Modul PLTB yang diuji adalah modul PLTB *direct drive* dan dengan penambahan *sprocket* rantai roda gigi dengan rasio 3:1. Modul PLTB digerakkan dan dikenai gaya oleh angin yang berasal dari sisi keluaran dari terowongan angin. Kecepatan angin dari terowongan angin ini diatur dengan menggunakan sistem kontrol dari inverter. Perubahan kecepatan angin dilakukan bertahap selama dua menit sekali. Anemometer diletakkan di tengah-tengah antara terowongan angin dan modul PLTB sederhana sebagai pengukur kecepatan angin dari keluaran terowongan angin dan sebagai data kecepatan angin yang bekerja pada turbin angin. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Prosedur Pengujian Modul PLTB Dengan Bantuan Terowongan Angin

**D. Perhitungan Daya Angin, Koefisien, Torsi dan Daya Turbin Angin**

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan udara atau perbedaan suhu udara pada suatu daerah atau wilayah. Karena bergerak angin memiliki energi kinetik[7]. Energi angin dapat diketahui melalui Persamaan berikut :

$$P_a = 0,5 \times \rho \times A \times v_1^3 \tag{1}$$

dengan :

- $P_a$  = Daya angin ( Watt ),
- $v_1$  = Kecepatan angin yang menuju turbin (m/s),
- $\rho$  = Kerapatan udara (  $kg/m^3$  ), untuk perhitungan biasanya diasumsikan  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$  berdasarkan *ISO standart atmosphere*
- $A$  = Daerah luasan sapuan angin (  $m^2$  ).

Daya angin dapat dikonversi menjadi daya mekanik (daya turbin angin) dengan menggunakan turbin angin. Daya turbin angin tidak sama dengan daya angin dikarenakan daya turbin angin terpengaruh oleh koefisien daya  $C_p$ .

$$P_t = P_a \times C_p \tag{2}$$

$$C_p = 0,5 \times \left( 1 - \frac{v_2^3}{v_1^3} \right) \times \left( 1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \tag{3}$$

dengan :

- $P_t$  = Daya turbin angin ( Watt ),
- $C_p$  = Koefisien daya turbin angin,
- $v_1$  = Kecepatan angin yang menuju turbin angin (m/s),
- $v_2$  = Kecepatan angin setelah melewati turbin angin (m/s),
- $P_a$  = Daya angin ( Watt ).

Nilai maksimum koefisien daya turbin angin adalah sebesar 0,5926. Nilai ini dikenal sebagai Betz limit. Pada kenyataannya, efisiensi turbin angin pun tidak akan sebesar 59%. Efisiensi biasanya berkisar antara 35% sampai 45%.[9]

Untuk setiap benda yang berputar pastinya akan mempunyai torsi. Torsi turbin angin dapat dihitung dengan Persamaan berikut :

$$T_t = \frac{P_t}{\omega} \tag{4}$$

$$\omega = 2\pi \times n / 60 \tag{5}$$

dengan :

- $T_t$  = Torsi turbin angin ( Nm ),
- $P_t$  = Daya turbin angin ( Watt ),
- $\omega$  = Kecepatan angular turbin angin ( rad/s ),
- $n$  = Banyaknya putaran turbin angin ( rpm ).

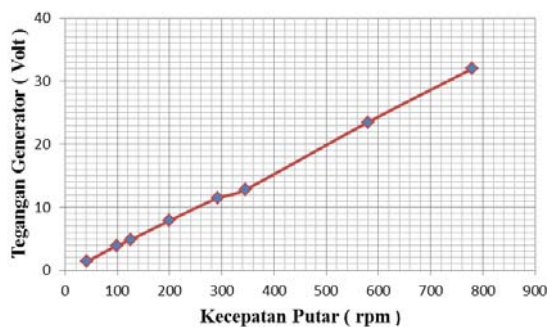
### III. HASIL DAN ANALISIS

#### A. Hasil Pengujian Karakteristik Generator Sinkron Magnet Permanen

##### ✓ Pengujian Tanpa Beban

TABLE I  
HASIL PENGUJIAN GENERATOR TANPA BEBAN

Kecepatan Putar (rpm)	Tegangan Masukan (Volt)	Arus Masukan (Ampere)	Daya Masukan (Watt)	Tegangan Generator (Volt)
42	415	1.830	1313.849	1.4
99	415	1.832	1315.284	3.92
125	415	1.835	1317.438	4.83
199	415	1.838	1319.592	7.85
293	415	1.840	1321.028	11.5
345	415	1.843	1323.182	12.8
580	415	1.852	1329.643	23.5
780	415	1.890	1356.926	32



Gambar 3. Grafik Hubungan Kecepatan Putar (rpm) Terhadap Tegangan Generator (Volt)

Dari Gambar 4 di atas, dapat terlihat bahwa tegangan bertambah besar seiring dengan bertambahnya kecepatan putar.

##### ✓ Pengujian Berbeban

Pada pengujian ini, generator terhubung ke baterai. Data yang didapat pada pengujian ini berupa daya masukan motor penggerak dan daya keluaran generator.

TABLE II  
DAYA MASUKAN MOTOR SAAT BERBEBAN

Kecepatan Putar (rpm)	Tegangan Masukan (Volt)	Arus Masukan (Ampere)	Daya Masukan (Watt)
42	416	1.832	1318.454
99	416	1.836	1321.332
125	416	1.840	1324.211
199	416	1.846	1328.529
293	416	1.852	1332.847
345	416	1.870	1345.802
580	416	1.950	1403.376
780	416	2.020	1453.754

Pada Tabel II terlihat bahwa daya masukan yang diserap oleh motor semakin bertambah seiring dengan kenaikan kecepatan putar. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya arus yang ditarik oleh motor seiring dengan kenaikan putaran motor tersebut. Untuk menaikkan putaran motor

maka dibutuhkan tambahan torsi, sehingga arus listrik yang diserap motor menjadi lebih besar. Selisih daya masukan motor saat berbeban dengan saat tanpa beban merupakan daya pada shaft generator.

TABLE III  
DAYA MASUKAN PADA SHAFT

Kecepatan Putar (rpm)	Daya Masukan Berbeban (Watt)	Daya Masukan Tanpa Beban (Watt)	Daya Masukan Pada Shaft (Watt)
42	415	1.830	1313.849
99	415	1.832	1315.284
125	415	1.835	1317.438
199	415	1.838	1319.592
293	415	1.840	1321.028
345	415	1.843	1323.182
580	415	1.852	1329.643
780	415	1.890	1356.926

Pada Tabel III di atas dapat terlihat bahwa daya masukan pada shaft generator mengalami kenaikan. Kenaikan daya masukan ini hanya sedikit ketika kecepatan putar kurang dari 300 rpm. Akan tetapi ketika kecepatan putar di atas 300 rpm, kenaikan daya masukan pada shaft generator cukup besar.

Berdasarkan data daya masukan pada shaft generator dan kecepatan putarannya, maka torsi generator tersebut dapat diketahui.

TABLE IV  
TORSI GENERATOR

Kecepatan Putar (rpm)	Daya Masukan Pada Shaft (Watt)	Torsi Generator (Nm)
42	1313.849	1.047
99	1315.284	0.583
125	1317.438	0.517
199	1319.592	0.429
293	1321.028	0.385
345	1323.182	0.626
580	1329.643	1.214
780	1356.926	1.185

Dari Tabel IV di atas, terlihat bahwa torsi awal generator memang besar untuk dapat menarik daya masukan yang besar. Selanjutnya torsi generator bergerak konstan dan cenderung menurun seiring kenaikan kecepatan putar dan kemudian meningkat kembali pada kecepatan di atas 345 rpm. Pantas saja pada daya masukan pada shaft pun mengalami peningkatan yang cukup besar saat putaran di atas 300 rpm karena torsinya yang juga mengalami perubahan.

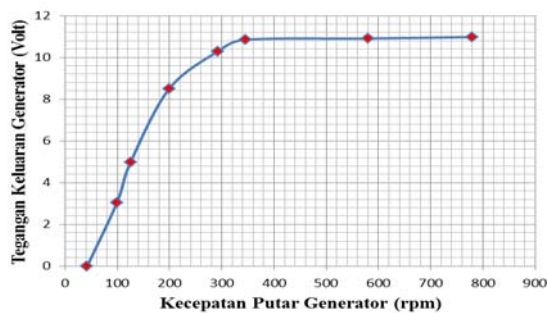
Untuk hasil pengujian karakteristik generator itu sendiri dapat dilihat pada Tabel V berikut ini :

TABLE V  
KARAKTERISTIK GENERATOR

Kecepatan Putar (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)	Effisiensi (%)
42	0.000	0.000	0.000	0.000

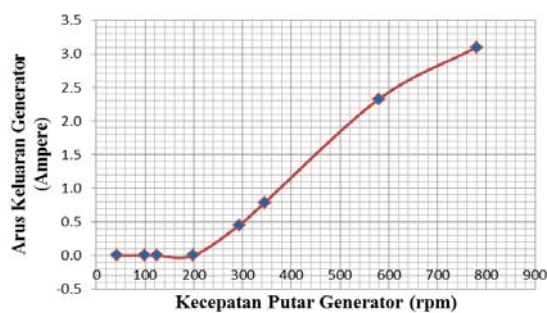
99	3.040	0.000	0.000	0.000
125	4.973	0.000	0.000	0.000
199	8.500	0.000	0.000	0.000
293	10.300	0.450	8.019	67.843
345	10.850	0.786	14.754	65.224
580	10.910	2.330	43.977	59.644
780	10.980	3.100	58.886	60.815

Terdapat tiga hubungan pada Tabel V di atas, yaitu kecepatan putar terhadap tegangan, kecepatan putar terhadap arus, dan kecepatan putar terhadap daya. Seiring dengan meningkatnya kecepatan putar generator, maka tegangan keluaran yang dihasilkan pun ikut bertambah besar, dan akan bernilai konstan ketika tegangan keluaran telah mencapai tegangan pengisian baterai. Grafiknya dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



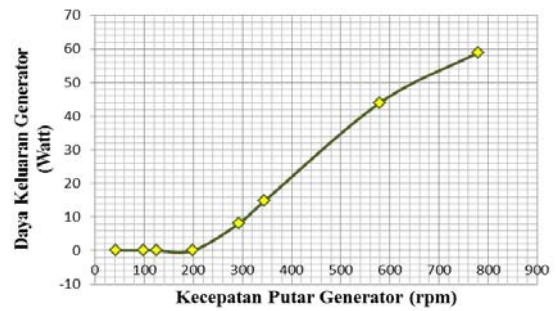
Gambar 4. Grafik Hubungan Kecepatan Putar (rpm) Terhadap Tegangan Generator Berbeban (Volt)

Sama halnya dengan tegangan, arus keluaran juga akan bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan putar generator. Bila tegangan keluaran generator belum mencapai tegangan pengisian baterai maka arus yang dihasilkan adalah nol. Akan tetapi setelah mencapai tegangan pengisian baterai maka arusnya terus bertambah seiring dengan meningkatnya kecepatan putar generator. Grafiknya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Generator Terhadap Arus Keluaran Generator

Dikarenakan tegangan dan arus keluaran generator bertambah seiring meningkatnya kecepatan putar generator, maka daya yang dihasilkan pun juga ikut bertambah. Bentuk grafiknya seperti pada gambar di bawah ini :



Gambar 6 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Putar Generator Terhadap Daya Keluaran Generator

Untuk efisiensi generator yang paling besar adalah 67,843% pada kecepatan putar 293 rpm. Efisiensi generator cenderung mengalami penurunan ketika kecepatan putar meningkat.

## B. Hasil Pengujian Modul PLTB Direct Drive

TABLE VI  
PENGUJIAN MODUL PLTB *DIRECT DRIVE*

Kecepatan Angin v1 (m/s)	Kecepatan Angin v2 (m/s)	Suhu (K)	Tekanan Udara (Pa)	Air Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kecepatan Putar Turbin (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
0.090	0.087	299.210	100900	1.175	0	0.000	0.000	0.000
0.164	0.151	299.300	100900	1.174	0	0.000	0.000	0.000
1.040	0.972	299.398	100900	1.174	0	0.000	0.000	0.000
<b>2.148</b>	1.923	299.400	100900	1.174	81	3.321	0.000	0.000
3.231	2.879	299.400	100900	1.174	122	4.915	0.000	0.000
4.476	3.983	299.400	100900	1.174	165	6.622	0.000	0.000
5.567	4.840	299.463	100900	1.174	197	8.196	0.000	0.000
6.973	6.098	299.500	100900	1.174	238	9.624	0.000	0.000
<b>7.889</b>	6.904	299.593	100900	1.173	258	9.981	0.239	4.124
<b>9.026</b>	8.102	299.639	100899	1.173	295	10.347	0.405	7.258

Dari Tabel VI di atas, terlihat bahwa turbin angin baru dapat berputar pada kecepatan angin v<sub>1</sub> sebesar 2,148 m/s. Untuk tegangan keluaran generator, mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan angin v<sub>1</sub>, tetapi arus keluaran generator sebesar 0,239 Ampere baru akan mengalir pada kecepatan angin v<sub>1</sub> 7,889 m/s, yaitu pada saat tegangan keluaran generator berada pada tegangan pengisian baterai sebesar 9,981 Volt. Pada saat kecepatan angin 9,026 m/s modul PLTB direct drive ini hanya berputar sebanyak 295 rpm menghasilkan tegangan 10,347 Volt, arus 0,405 Ampere dan daya sebesar 7,258 Watt. Hasil yang kurang optimal ini tentunya tidak terlepas dari putaran yang dihasilkan pada turbin angin yang hanya 295 rpm saja. Sedangkan bila dilihat pada Tabel V diketahui bahwa apabila ingin mendapatkan daya yang besar maka generator harus dapat berputar dengan kecepatan di atas 580 rpm.

Dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3), dan (4) maka dapat dihitung berapa besar daya angin  $P_a$ , koefisien daya angin  $C_p$ , daya turbin angin  $P_t$  dan torsi turbin angin  $T_t$ . Berikut hasilnya dapat terlihat pada Tabel di bawah ini :

TABLE VII  
 $P_a$ ,  $C_p$ ,  $P_t$ , DAN  $T_t$  PADA Masing-masing Kecepatan Angin v<sub>1</sub> DAN KECEPATAN PUTAR PLTB *DIRECT DRIVE*

v <sub>1</sub> (m/s)	n (rpm)	P <sub>a</sub> (Watt)	C <sub>p</sub>	P <sub>t</sub> (Watt)	T <sub>t</sub> (Nm)
0.090	0	4,844 x 10 <sup>-4</sup>	0,069	0.000	0
0.164	0	2,928 x 10 <sup>-3</sup>	0,148	0.000	0



1.040	0	0,747	0,122	0.091	0
2.148	81	6,579	0,188	1.237	0,146
3.231	122	22,393	0,195	4.367	0,342
4.476	165	59,535	0,197	11.728	0,678
5.567	197	114,542	0,228	26.115	1,266
6.973	238	225,092	0,220	49.52	1,987
7.889	258	325,684	0,219	71.325	2,64
9.026	295	487,772	0,184	89.75	2,905

Dari Tabel VII di atas dapat terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya kecepatan angin maka daya angin juga semakin besar. Sedangkan untuk nilai koefisien daya turbin angin hanya berada di bawah 23% yaitu maksimal hanya 22,8%. Ini menunjukkan bahwa turbin angin kurang optimal dalam menangkap daya angin yang ada sehingga daya turbin angin yang dibangkitkan pun tidak terlalu besar. Untuk torsi turbin angin sendiri nilainya juga bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Bandingkan dengan data pada Tabel IV, untuk mendapatkan putaran generator 295 rpm diperlukan daya sebesar 11,819 Watt sedangkan pada PLTB direct drive memerlukan daya sebesar 89,75 Watt.

TABLE VIII  
EFFISIENSI GENERATOR PADA MODUL PLTB *DIRECT DRIVE*

Kecepatan Angin $v_1$ (m/s)	Kecepatan Putar (rpm)	Daya Turbin Angin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Effisiensi (%)
0.090	0	0.000	0.000	0
0.164	0	0.000	0.000	0
1.040	0	0.091	0.000	0
2.148	81	1.237	0.000	0
3.231	122	4.367	0.000	0
4.476	165	11.728	0.000	0
5.567	197	26.115	0.000	0
6.973	238	49.52	0.000	0
7.889	258	71.325	4.124	5.782
9.026	295	89.75	7.258	8.807

Terlihat pada Tabel VIII di atas efisiensi generator sangatlah kecil. Hanya 5 – 8 % saja pada kecepatan angin 7,889 dan 9,026 m/s. Hal ini dikarenakan putaran maksimal turbin angin yang kurang dari 580 rpm sehingga generator belum dapat menghasilkan daya keluaran yang besar.

### C. Hasil Pengujian Modul PLTB Dengan Penambahan Sprocket Rantai Roda Gigi Rasio 3:1

TABLE IX  
PENGUJIAN MODUL PLTB DENGAN PENAMBAHAN *SPROCKET* RANTAI

Kecepatan Angin $v_1$ (m/s)	Kecepatan Angin $v_2$ (m/s)	Suhu (K)	Tekanan Udara (Pa)	Air Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kecepatan Putar Turbin (rpm)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt)
0,008	0,0075	300,600	100697	1,167	0	0,000	0,000	0,000
0,142	0,131	300,600	100700	1,167	0	0,000	0,000	0,000
1,017	0,923	300,600	100700	1,167	0	0,000	0,000	0,000
2,200	1,983	300,600	100700	1,167	0	0,000	0,000	0,000
3,360	3,004	300,583	100700	1,167	0	0,000	0,000	0,000
4,625	4,125	300,585	100700	1,167	0	0,000	0,000	0,000
<b>5.890</b>	5,212	300,600	100700	1,167	79	9,278	0,000	0,000
<b>7.089</b>	6,294	300,600	100700	1,167	85	10,020	0,193	3,338
8,428	7,502	300,620	100700	1,167	89	10,234	0,296	5,245
9,679	8,682	300,700	100700	1,167	97	10,445	0,399	7,205
10,819	9,725	300,800	100700	1,167	102	10,683	0,498	9,197
<b>11.974</b>	10,811	300,900	100700	1,167	110	10,878	0,618	11,631

Pada Tabel VIII tersebut, terlihat bahwa turbin angin pada modul PLTB ini baru akan berputar pada kecepatan angin  $v_1$  sebesar 5,89 m/s. Nilai ini jika dibandingkan dengan modul PLTB direct drive merupakan hampir tiga kali lipatnya (pada modul PLTB direct drive, turbin angin baru dapat berputar pada  $v_1 = 2,148$  m/s). Ini merupakan suatu resiko yang didapat dengan adanya penambahan sprocket rantai roda gigi, karena penambahan hal tersebut secara langsung akan menambahkan nilai torsi turbin angin sehingga turbin angin akan menjadi lebih berat untuk digerakkan. Seiring kenaikan putaran turbin angin, tegangan keluaran generator juga bertambah besar walaupun kenaikan hanya sedikit. Begitu pula dengan arus keluaran generator, bertambah seiring dengan meningkatnya putaran turbin angin. Karena modul ini merupakan PLTB dengan penambahan sprocket rantai roda gigi dengan rasio 3:1 maka putaran generator merupakan tiga kali putaran turbin angin. Jadi apabila turbin angin berputar sebanyak 110 rpm berarti pada shaft generator berputar sebanyak 330 rpm. Pada modul PLTB ini baru akan menghasilkan arus sebesar 0,193 Ampere, tegangan 10,02 Volt dan daya 3,338 Watt pada kecepatan angin  $v_1$  7,089 m/s dan turbin angin berputar sebanyak 85 rpm. Sedangkan daya maksimal yang dapat dihasilkan adalah sebesar 11,631 Watt dengan tegangan sebesar 10,878 Volt dan arus 0,618 Ampere pada kecepatan angin  $v_1$  sebesar 11,974 m/s dan turbin angin berputar sebanyak 110 rpm.

Seperti halnya pada PLTB *direct drive*, dengan menggunakan Persamaan (1), (2), (3), dan (4) maka dapat dihitung berapa besar daya angin  $P_a$ , koefisien daya angin  $C_p$ , daya turbin angin  $P_t$  dan torsi turbin angin  $T_t$  pada modul PLTB ini. Berikut hasilnya dapat terlihat pada Tabel di bawah ini :

TABLE X  
 $P_a$ ,  $C_p$ ,  $P_t$ , DAN  $T_t$  PADA MASING-MASING KECEPATAN ANGIN  $v_1$  DAN KECEPATAN PUTAR PLTB DENGAN PENAMBAHAN *SPROCKET* RANTAI

$v_1$ (m/s)	n (rpm)	$P_a$ (Watt)	$C_p$	$P_t$ (Watt)	$T_t$ (Nm)
0,008	0	$3,378 \times 10^{-7}$	0,117	0	0
0,142	0	$1,811 \times 10^{-3}$	0,146	0	0
1,017	0	0,662	0,169	0,112	0
2,200	0	6,697	0,178	1,192	0
3,360	0	23,846	0,190	4,531	0
4,625	0	62,205	0,194	12,067	0
5,890	79	128,496	0,205	26,342	3,184
7,089	85	223,942	0,200	44,788	5,032
8,428	89	376,254	0,196	73,746	7,912
9,679	97	569,934	0,185	105,438	10,380
10,819	102	794,92	0,182	144,675	13,544
11,974	110	1077,322	0,176	191,763	16,647

Dari Tabel X di atas dapat terlihat bahwa daya angin bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Sedangkan nilai koefisien daya turbin angin lebih kecil jika dibandingkan dengan pada modul PLTB *direct drive*, sehingga daya turbin angin yang dibangkitkan pun jelas berkurang. Untuk torsi turbin angin sendiri nilainya juga bertambah seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Bila ditinjau kembali pada hasil torsi turbin angin *direct drive* maka hasil torsi tersebut sangat jauh lebih besar. Penambahan *sprocket* rantai roda gigi dengan rasio 3:1 terbukti memberikan andil yang sangat besar pada torsi

turbin angin. Menyebabkan turbin angin memerlukan daya yang jauh lebih besar pula untuk membuatnya berputar.

TABLE XI  
EFFISIENSI GENERATOR PADA MODUL PLTB DENGAN PENAMBAHAN  
SPROCKET RANTAI

Kecepatan Angin $v_1$ (m/s)	Kecepatan Putaran (rpm)	Daya Turbin Angin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Effisiensi (%)
0,008	0	0	0,000	0
0,142	0	0	0,000	0
1,017	0	0,112	0,000	0
2,200	0	1,192	0,000	0
3,360	0	4,531	0,000	0
4,625	0	12,067	0,000	0
5,890	79	26,342	0,000	0
7,089	85	44,788	3,338	7,453
8,428	89	73,746	5,245	7,112
9,679	97	105,438	7,205	6,833
10,819	102	144,675	9,197	6,357
11,974	110	191,763	11,631	6,065

Dari Tabel XI terlihat bahwa efisiensi maksimal generator hanya sebesar 7,453 % pada kecepatan angin  $v_1$  6,975 m/s. Dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin. Dengan daya turbin angin sebesar 191,763 Watt turbin angin hanya dapat berputar sebanyak 110 rpm pada kecepatan angin 11,778 m/s yang artinya putaran yang didapat pada generator pun hanya 330 rpm dan pada putaran tersebut generator belum dapat menghasilkan daya keluaran yang besar, sehingga efisiensi generator sangatlah kecil.

#### IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan beberapa kesimpulan di antaranya sebagai berikut :

- Pada data pengujian generator, dengan kecepatan putar 293 rpm menghasilkan tegangan 10,3 Volt, arus 0,4 Ampere, daya 8,019 Watt dengan efisiensi 67,843% dan akan menghasilkan tegangan 10,98 Volt, arus 3,1 Ampere, daya 58,886 Watt dengan efisiensi 60,815% pada putaran 780 rpm.
- Pada data pengujian modul PLTB *direct drive*, turbin angin baru berputar saat kecepatan angin 2,148 m/s dengan putaran 81 rpm, menghasilkan tegangan 3,321 Volt dan arus 0 Ampere. Dengan kecepatan angin 7,889 m/s turbin angin berputar 258 rpm menghasilkan tegangan 9,981 Volt, arus 0,239 Ampere, daya 4,124 Watt dengan efisiensi 5,782% dan pada kecepatan angin 9,026 m/s turbin angin berputar 295 rpm menghasilkan tegangan 10,347 Volt, arus 0,405 Ampere, daya 7,258 Watt dengan efisiensi 8,087%.

- Dengan penambahan *sprocket* rantai roda gigi dengan rasio 3:1 pada modul PLTB, turbin angin baru berputar saat kecepatan angin 5,89 m/s dengan putaran 79 rpm, menghasilkan tegangan 9,278 Volt dan arus 0 Ampere. Dengan kecepatan angin 7,089 m/s turbin angin berputar 85 rpm menghasilkan tegangan 10,02 Volt, arus 0,193 Ampere, daya 3,338 Watt dengan efisiensi 7,453% dan pada kecepatan angin 11,974 m/s turbin angin berputar 110 rpm, menghasilkan tegangan 10,878 Volt, arus 0,618 Ampere, daya 11,631 Watt dengan efisiensi 6,065%.
- Karakteristik modul PLTB yang lebih baik dalam pengisian baterai adalah modul PLTB dengan penambahan sprocket rantai roda gigi dengan rasio 3:1 karena memerlukan kecepatan angin yang lebih rendah untuk mulai melakukan pengisian baterai dibandingkan dengan modul PLTB *direct drive*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achyanto, Djoko. 1997. *Mesin-mesin Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Akbar, Muhammad Aji. 2014. *Rancang Bangun Sudu Savonius Sebagai Self Starting Turbin Angin Tipe Hybrid Darrieus Savonius*. Cilegon : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [3] Alé, Jorge Antonio Villar., Gabriel da Silva Simioni, and João Gilberto Astrada Chagas Filho. 2010. *Procedures Laboratory For Small Wind Turbines Testing*. Brazil : Pontifical Catholic University of Rio Grande do Sul Porto Alegre.
- [4] Al-Shemmeri, T. 2010. *Wind Turbines*. Ventus Publishing ApS.
- [5] Andika, Markus Nanda., Y. Teguh Triharyanto dan Ricky Octavianus Prasetya. 2007. *Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersudu Banyak*. Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- [6] Asy'ari, Hasyim., Aris Budiman dan Nurmuntaha Agung Nugraha. 2010. *Pemanfaatan Generator Induksi Sebagai Pembangkit Listrik Angin Skala Rumah Tangga Di Mbulak Baru Kabupaten Jepara*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah.
- [7] Daryanto, Y. 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta : Balai PPTAGG – UPT-LAGG.
- [8] Djatmiko, Istanto W. 2010. *Bahan Ajar Elektronika Daya*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- [9] Farret, Felix A., and M. Godoy Simoes. 2006. *Integration Of Alternative Sources Of Energy*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- [10] IEC 61400-12-1. 2005. *Wind Turbine Generator Systems Part 12-1: Power Performance Measurements of Electricity Producing Wind Turbines*.
- [11] Nelson, Vaughn. 2009. *Wind Energy : Renewable Energy And The Environment*. New York : CRC Press.
- [12] Nugroho, Difi Nuary. 2011. *Analisis Pengisian Baterai Pada Rancang Bangun Turbin Poros Vertikal Tipe Savonius Untuk Pencatutan Beban Listrik*. Depok : Universitas Indonesia.
- [13] Perdana, Pramudya Nur. 2012. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu / Angin (PLTB). Tersedia dari : <http://jendeladengabei.blogspot.com> (URL dikunjungi pada 17 April 2014)
- [14] Priyatna, Angga. 2013. *Analisa Perancangan Generator Sinkron Magnet Permanen Putaran Rendah 2,5 kW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Menggunakan Software Ansoft/Ansys Maxwell RMXprt V.12 Di Uit Pelaksana Teknis – Laboratorium Aero-Gasdinamika dan Getaran*. Cilegon : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [15] Saputra, Deas R.A. 2014. *Rancang Bangun Generator Sinkron Magnet Permanen Kecepatan Rendah Untuk Sistem Pengisian Baterai*. Cilegon : Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [16] Setiawan, Roni. 2011. *Pembangkit Listrik Tenaga Angin Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Parangtritis*. Yogyakarta : Universitas Negeri Yogyakarta.
- [17] Stiebler, Manfred. 2008. *Wind Energy System For Electric Power Generation*. Berlin : Springer.
- [18] Theraja, B.L. 1961. *Electrical Technology*. New Delhi
- [19] Zuhail. 2000. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka.
- [20] Prisandi, Chatra Hagusta. 2011. *Studi Desain Kumparan Stator Pada Generator Sinkron Magnet Permanen Fluks Aksial Tanpa Inti Stator*. Depok : Universitas Indonesia.

# Evaluasi Kinerja *Internet Protocol Television* Melalui Jaringan Overlay

Supriyanto<sup>1</sup>, Muhammad F. Alfath<sup>2</sup>, Suhendar<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro  
 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia  
 e-mail: supriyanto@ft-untirta.ac.id

**Abstrak** – Internet mengalami pertumbuhan yang pesat dalam 10 tahun terakhir, pengguna Internet semakin bertambah besar setiap harinya. Salah satu jenis *content* yang sering diakses oleh pengguna Internet adalah video. Video yang diakses melalui Internet sama dengan video yang dilihat di layar televisi. Televisi sebagai media penyampai video mulai digabung fungsinya agar dapat masuk ke dalam jaringan Internet, sehingga fitur-fitur yang ada pada teknologi Internet dapat diadaptasi ke dalam televisi. IPTV merupakan salah satu teknologi yang menggabungkan antara televisi dengan Internet. Namun kemudian timbul masalah pada kualitas video yang dihasilkan jika IPTV menyediakan fitur komunikasi antar client. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas video pada IPTV jika menggunakan fitur komunikasi antar pelanggan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas gambar yang dihasilkan pada IPTV sama sekalipun terdapat hubungan komunikasi antar client dalam jaringan IPTV tersebut.

**Keyword:** IPTV, Televisi, Peer to Peer, Internet

## I. PENDAHULUAN

Internet mengalami pertumbuhan yang sangat pesat, hingga saat ini terdapat 2.8 miliar pengguna Internet di seluruh dunia, 3 miliar pengguna ponsel dan 4 miliar pelanggan komunikasi *mobile*. Pada tahun 2000 Google mendapatkan 1 miliar index dan pada tahun 2008 mencapai triliunan index [1]. Pada tahun 2005, Chad Hurley, Steve Chen, dan Jawed Karim memperkenalkan *Youtube*, sebuah media *self broadcast* yang berorientasi pada video dan sekarang *Youtube* berada pada posisi 3 dunia [2]. *Content* video semakin banyak diakses oleh pengguna Internet dan akan terus meningkat setiap harinya. Seiring meningkatnya pengguna Internet yang mengakses *content* video maka para peneliti sedang mengembangkan teknologi yang dinamakan jaringan overlay atau *overlay network*. *Overlay network* adalah jaringan yang dibuat di atas jaringan yang sudah ada.

*Overlay Network* dibutuhkan karena data dan media menjadi besar di Internet sekarang ini sementara lalu lintas data sangat padat. Untuk itu jaringan overlay menjadi pilihan yang sesuai. Jaringan ini tidak perlu membuat jaringan baru dan merubah konfigurasi *router*. Di sisi lain, teknologi televisi semakin ditinggalkan, karena ketidakmampuan televisi untuk menjawab kebutuhan masyarakat modern yang mempunyai daya *mobile* tinggi sehingga televisi harus mempunyai *content* acara yang dapat ditonton kapanpun dan dimanapun.

Untuk menjawab pertanyaan tersebut, saat ini perusahaan penyedia jasa televisi (*Telco*) bekerjasama dengan perusahaan penyedia jasa *bandwidth* (*network*) untuk menciptakan sebuah layanan televisi berbasis Internet yang dapat dinikmati kapanpun dan dimanapun.

Layanan tersebut kemudian dinamakan *Internet Protocol Television* atau disingkat IPTV [3].

IPTV disalurkan melalui protokol IP (*Internet Protocol*) *Multicast*, yakni hanya IP yang terdaftar di *server* yang akan dikirimkan paket videonya. IPTV disalurkan melalui jaringan Internet yang sudah terpasang di sebagian rumah, sehingga dapat menekan biaya karena tidak perlu membuat jaringan baru lagi. Penempatan jaringan IPTV di atas jaringan Internet yang sudah tersedia dapat dikategorikan sebagai *overlay network*. Salah satu metode untuk penyampaian IPTV saat ini adalah P2P (*Peer to Peer*). Dengan P2P, *Streaming* pada IPTV diharapkan dapat menekan sekecil mungkin delay pada transmisi paket data, sehingga kualitas video yang disampaikan menjadi sangat baik. Untuk itu dibutuhkan *bandwidth* yang besar untuk mengaksesnya.

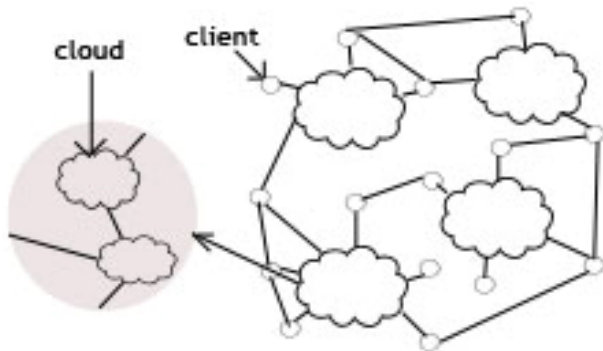
Penyampaian *content* video melalui jaringan Internet dipengaruhi oleh banyaknya pelanggan (*client*) yang terhubung dengan server. Tetapi, hal ini dapat ditekan sekecil mungkin, sehingga setiap *client* dapat mendapatkan kualitas video yang baik. Agar kualitas video dapat dijaga dengan baik, maka pengawasan penyampaian paket harus dilakukan oleh pihak *provider* IPTV.

Provider IPTV di Indonesia adalah PT. Telkom Indonesia yang menyediakan layanan IPTV melalui Groovia TV. Berdasarkan teori IPTV bahwa penyampaian video melalui Internet harus mempunyai *Quality of Service* (QoS) yang maksimal. Untuk itu, penyampaian paket video harus maksimal, sehingga mencapai keadaan *zero loss*. QoS merupakan garansi utama yang diberikan oleh *service* IPTV. Tanpa *service* IPTV maka *paket loss* dan delay akan menjadi lebih besar sehingga nilai dari QoS pun akan menjadi minimum [4]. Selain *streaming* video, IPTV memungkinkan pelanggan dapat berkomunikasi dengan pelanggan lain, misalnya menggunakan *feature chat*. Namun IPTV yang disediakan oleh PT. Telkom saat ini belum mempunyai fasilitas untuk transfer data antar *client*, oleh sebab itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas gambar IPTV jika *client* juga melakukan komunikasi dengan *client* lainnya. Hal dilakukan dengan membandingkan antara *client* yang hanya terhubung dengan server dengan *client* yang melakukan komunikasi dengan *client* lain dalam jaringan yang sama.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Internet (*Interconnected-networking*) adalah jaringan yang menghubungkan jaringan-jaringan lokal dalam skala lebih kecil yang di dalamnya terhubung komputer dengan komputer lainnya seperti pada Gambar 1. Dewasa ini Internet semakin mewabah dan menjadi sebuah *lifestyle* baru dan adanya Internet telah menjadikan akses informasi

sangat cepat dan luas. Dengan layanan yang semakin bervariasi seperti mesin pencari dan media sosial, seseorang dapat mencari berbagai ilmu secara cepat dan akurat daripada harus mencari sumber di perpustakaan, tentunya dengan batasan-batasan ilmu yang dicari. Selain itu, Internet juga berfungsi sebagai alat transaksi, surat elektronik dan media transparansi sebuah lembaga pemerintah kepada rakyatnya. Misalkan dengan peluncuran website *e-government*.



Gambar 1. Jaringan Internet

Oleh karena jaringan Internet merangkumi berbagai jaringan lokal maka Internet menjadi sebuah jaringan yang sangat kompleks sekali. Jaringan tersebut merupakan koneksi antar komputer/*client* walaupun Gambar 1 tersebut hanya mewakili sebagian kecil dari koneksi komputer yang ada di dunia. Selain itu Internet juga menghubungkan berbagai *cloud*, yakni sebuah jaringan yang tidak diketahui secara jelas topologinya namun jaringan tersebut mengandung jaringan lain di dalamnya. Keberadaan *cloud* dapat dipadukan dengan *cloud* lagi di dalamnya, hal ini menyebabkan jaringan Internet yang ada di dunia saat ini sangat rumit.

#### A. Internet Televisi

Internet televisi atau biasa disebut Internet TV adalah penyampaian jaringan televisi, video dan data melalui Internet. Pendefinisian ini sama dengan IPTV tetapi Internet TV tidak dikontrol oleh provider telekomunikasi sehingga dapat diakses oleh siapapun. Aplikasi video semakin berkembang dan Internet pun tidak lepas menjadi sebuah cara untuk penyampaian video. Adanya Internet televisi menjadikan *user* dapat menonton suatu acara di komputer kapan pun, dikarenakan *file video* sudah tersimpan dengan rapih di server.



Gambar 2. Distribusi Internet Televisi

Pendistribusian *content* video pada Internet televisi sama dengan pendistribusian video pada jaringan Internet seperti halnya *browsing* Internet. Internet televisi juga harus memakai *service bandwidth* yang disediakan oleh pihak ISP (*Internet Service Provider*). Gambar 2 menunjukkan gambaran yang cukup baik untuk menjelaskan bagaimana distribusi Internet televisi terjadi. Dari jaringan Internet melalui kabel telpon, pengguna dapat menonton TV melalui jaringan Internet. Namun pada dasarnya pihak provider pada Internet televisi hanya menyediakan *content* sebuah video tetapi tidak menjamin bahwa video yang disampaikan ke *user* mempunyai kualitas yang baik.

#### B. IPTV (*Internet Protocol Television*)

IPTV (*Internet Protocol Television*) didefinisikan sebagai pelayanan multimedia yang menyampaikan televisi, video, suara, text, grafik dan data melalui jaringan IP (*Internet Protocol*) [5], [6], [7]. IPTV dikontrol oleh perusahaan telekomunikasi sehingga masyarakat harus membayar biaya tertentu per bulan untuk menjadi pelanggan (*subscriber*) untuk menikmati layanan ini. Teknologi IPTV menjadikan televisi dapat melakukan 3 hal sekaligus atau disebut dengan *triple play* [1] yakni

##### a. *Browsing*

Seperti halnya PC, televisi yang menggunakan IPTV dapat terhubung dengan Internet, sehingga pelanggan dapat melakukan *browsing* dan memanfaatkan layanan Internet dengan layar televisi.

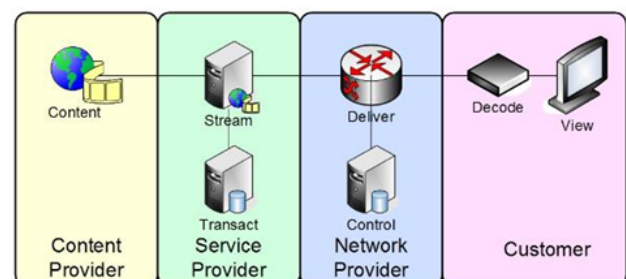
##### b. VoIP (*Voice over Internet Protocol*)

Sebuah PC sekarang sudah dapat melakukan komunikasi suara atau telfon dengan bantuan *Internet protocol*. Sebuah TV yang dipasang IPTV juga dapat melakukan komunikasi VoIP.

##### c. Menonton Televisi

Menonton TV memang kemampuan televisi sebelumnya, apabila menggunakan fasilitas IPTV maka TV juga masih dapat berfungsi untuk menyaksikan siaran televisi.

Jaringan IPTV dimulai dari penyedia content yang memberikan layanan kepada para pelanggan. Namun penyedia content tidak dapat mengirimkan content kepada pelanggan secara langsung, ia harus bekerjasama dengan penyedia jasa jaringan agar content yang diproduksi dapat sampai kepada pelanggan. Gambar 3 menunjukkan jaringan IPTV tersebut.



Gambar 3. Jaringan IPTV

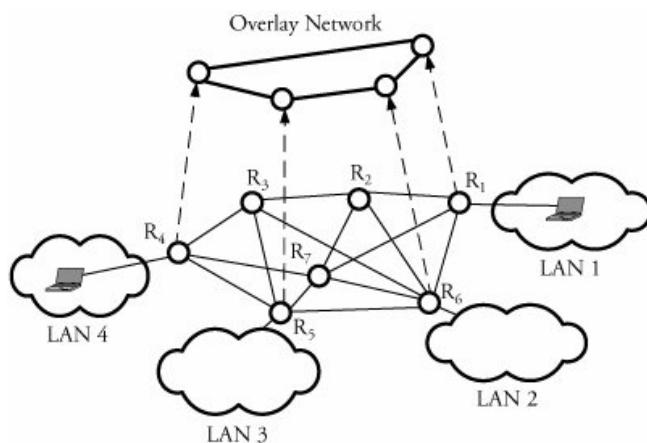
Dibandingkan dengan pesawat TV biasa, IPTV memiliki banyak kelebihan IPTV diantaranya adalah:

a. Pelanggan dapat memilih siaran televisi yang diinginkan dengan *channel* yang lebih banyak.

- b. Pelanggan dapat *reverse*, *pause* atau *forward* acara televisi.
- c. Pelanggan dapat memilih *video* yang diinginkan atau dikenal dengan *video on demand*.
- d. Kualitas gambar lebih baik atau disebut *High Definition*.

### C. Overlay Network

Dengan semakin banyaknya pengguna Internet dewasa ini menyebabkan lalu lintas data pada jaringan Internet menjadi semakin padat. Hal ini menyebabkan para peneliti mengembangkan teknologi yang dapat melakukan transmisi data melalui lapisan di atas jaringan Internet yang telah ada. Teknologi ini kemudian disebut sebagai jaringan overlay atau *overlay network* [1]. Menggunakan jaringan *overlay* membuat transmisi informasi melalui Internet menjadi semakin mudah, karena tidak perlu merubah konfigurasi pada infrastruktur jaringan yang sudah ada termasuk router. Oleh karena transmisi data pada jaringan *overlay network* menggunakan lapisan di atas jaringan yang sudah ada, maka tidak mempengaruhi konfigurasi yang sedang berjalan. Namun jaringan overlay tidak tampak nyata, ia merupakan jaringan virtual dan bukan jaringan fisik. Gambar 4 merupakan salah satu contoh bentuk jaringan overlay.



Gambar 4. Jaringan Overlay

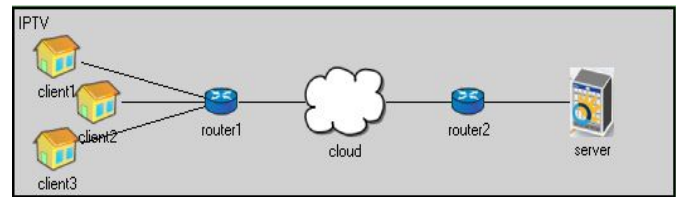
Gambar 4 adalah contoh sebuah jaringan overlay yang berada di atas jaringan fisik yang menghubungkan enam router dan 4 jaringan LAN. Jaringan overlay menjadi sangat relevan saat ini mengingat ketersediaan infrastruktur jaringan yang terbatas dan semakin berkembangnya pengguna.

### III. TOPOLOGI JARINGAN

Untuk menjalankan penelitian ini digunakanlah *software* OMNeT++ yang merupakan perangkat lunak yang dibuat oleh Andras Varga [5]. Omnet++ berbasis C++ dan bertujuan untuk berbagai keperluan simulasi jaringan. Jaringan yang dapat disimulasikan pada *software* ini meliputi *wireless*, *communication networks*, *queuing networks*. Adapun topologi jaringan yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja IPTV pada jaringan overlay ditunjukkan pada Gambar 5.

Topologi pada Gambar 5 terdiri atas sebuah server sebagai penyedia layanan IPTV, router sebagai *intermediate device* yang dapat meneruskan informasi dari

dan ke *server* atau *client*. Sedangkan *client* sendiri adalah pelanggan IPTV yang diwakili oleh tiga buah host. Besar paket yang digunakan pada simulasi ini adalah 100 MB dengan bandwidth 3 Mbps.



Gambar 5. Topologi Jaringan IPTV

Terdapat dua skenario yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu skenario pertama yakni *client* hanya melakukan komunikasi dengan server saja. Sedangkan skenario kedua adalah adanya tambahan komunikasi antara *client* dengan server dan komunikasi antar *client*. Pada skenario pertama server mengirimkan paket IP kepada *client* secara *multicast* sedangkan pada skenario kedua *client* 1 juga mengirimkan paket pada *client* 3. Parameter yang digunakan untuk mengukur kinerja IPTV pada penelitian ini adalah nilai *throughput*, *delay* dan *packet loss*. Data yang diambil pada kedua skenario sama yaitu bit yang dikirimkan dan sampai ke tujuan, waktu pengiriman paket dan paket yang hilang pada saat pengiriman.

Alamat Internet yang digunakan pada simulasi adalah IPv4 yang merupakan alamat Internet yang digunakan sekarang dan bersifat statik. Tabel 1 menunjukkan alamat Internet yang dikonfigurasi pada setiap *interface* yang ada.

Tabel 1. Alamat Internet pada masing – masing Interface

Node	Interface	IP
Server	PPP0/1 Router	192.168.4.2/0
Router	PPP1/0 Server	192.168.4.1/0
Router	PPP0/0 Cloud	192.168.3.2/0
Cloud	PPP1/0 Router	192.168.3.1/0
Cloud	PPP0/1 Router1	192.168.1.2/0
Router1	PPP1/0 Cloud	192.168.1.1/0
Router1	PPP0/0 Client	192.168.5.2/0
Router1	PPP2/0 Client1	192.168.6.2/0
Router1	PPP3/0 Client2	192.168.7.2/0
Client	PPP0/0 Router1	192.168.5.1/0
Client1	PPP0/2 Router1	192.168.6.1/0
Client2	PPP0/3 Router1	192.168.7.1/0

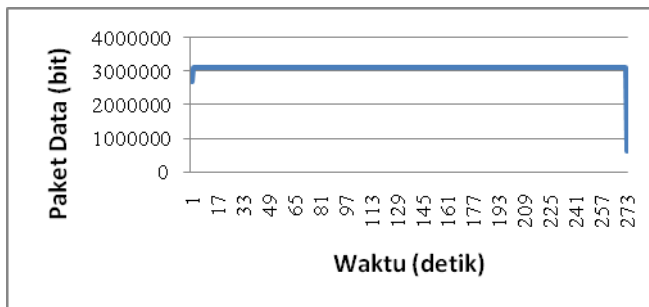
### IV. HASIL DAN ANALISA

Dari percobaan yang dilakukan diperoleh data yang meliputi total bit yang diterima oleh *client*, waktu pengiriman dan paket IP yang hilang. Data tersebut digunakan untuk menghitung parameter kinerja jaringan yaitu *throughput* dan *delay*. Nilai *throughput* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Bit}}{\text{Waktu}} \quad (1)$$

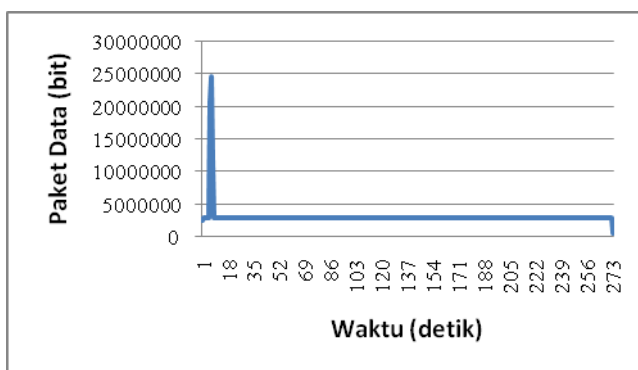
Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan antara jumlah bit yang dikirim dari server ke client dengan waktu pengirimannya. Jika dijumlahkan maka selama 273.06 detik, jumlah paket data yang diterima oleh client adalah 105.731.424 bytes. Dengan menggunakan persamaan 1,

maka nilai *throughput* yang didapatkan adalah 3.097.675,94 bits/second atau jika dikonversikan ke dalam satuan Mbits adalah 2.95 Mbits/s. Transmisi paket IP secara *multicast* pada ketiga client yang ada ternyata diperoleh nilai *throughput* yang sama untuk ketiga client tersebut.



Gambar 6. Hubungan Paket Data dengan Waktu Pengiriman Pada Komunikasi Antara Client dan Server

Pada skenario yang kedua terdapat hubungan transfer data antar sesama *client*, sedang *client* tersebut masih melangsungkan komunikasi dengan *server*. Dari hasil simulasi didapatkan grafik seperti Gambar 7 dan besar paket yang dikirim adalah 3.422.760 bytes, dan waktu yang dibutuhkan untuk pengiriman ini data ini adalah 1,25 detik. sehingga didapatkan nilai *throughput* adalah sebesar 2.738.208 bits/s atau jika dikonversikan ke dalam Mbit adalah 2.61 Mbit/s. Nilai ini adalah *throughput* pada pengiriman paket data dari *client* 1 ke *client* 3.

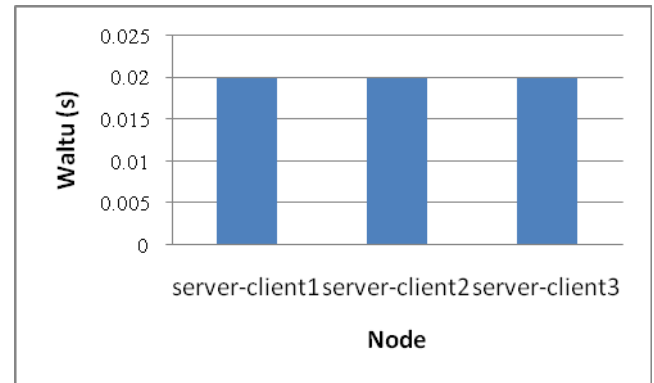


Gambar 7. Hubungan Paket Data dengan Waktu Pengiriman Pada Komunikasi Antara Client 1 dan Client 3

Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada saat belum terjadi komunikasi antara *client* dengan *server*, data yang diterima oleh *client* 3 cukup besar, namun setelah *server* juga mengirimkan data kepada *client* 3, data yang diterima dari *client* 1 menjadi rendah namun konstan hingga pengiriman paket berhenti. Ini berarti komunikasi antar *client* terpengaruh oleh komunikasi antara *client* dengan *server*. Namun ternyata komunikasi antara *client* 3 dengan *server* tidak terganggu. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *throughput* pada komunikasi *client* 3 dengan *server* sebesar 2,95 Mbit/s.

Hasil pengukuran pada *End to End Delay* yang waktu yang digunakan untuk paket sampai ke tujuan dari sumbernya seperti ditunjukkan oleh gambar 8. Untuk ukuran paket sebesar 3872 bytes meliputi IP dan UDP. Pengiriman paket data tersebut dilakukan secara *multicast*

kepada semua *client*. Ternyata diperoleh hasil yang sama untuk ketiga *client* tersebut.

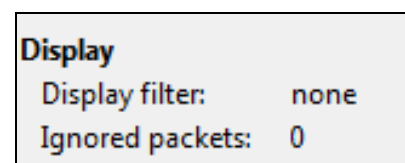


Gambar 8. End to End Delay pada Komunikasi Antara Client dan Server

Gambar 8 menunjukkan grafik bahwa nilai dari parameter *end to end delay* mempunyai hasil yang sama pada setiap *client*. Nilai dari *delay* ini mempunyai besar 0.02 detik. Penyampaian paket data dari *server* ke *client* diatur oleh tabel routing yang sudah di atur konfigurasinya sehingga paket data bisa sampai ke tujuannya masing-masing. Nilai dari parameter *delay* ini semakin menguatkan bahwa simulasi IPTV yang terjadi mempunyai tingkat QoS yang baik.

Untuk skenario kedua pada pengukuran *end to end delay* diperoleh hasil yang sama dengan skenario pertama. Hal ini menunjukkan bahwa adanya komunikasi antar pelanggan IPTV tidak mempengaruhi kualitas penerimaan siaran dari *server*. Dengan demikian ini menjadi kelebihan IPTV dibandingkan TV biasa. Pengguna dapat saling berkomunikasi tanpa mengurangi kualitas siaran IPTV.

Parameter ketiga yang digunakan untuk mengukur kualitas IPTV adalah Paket loss. Pada percobaan yang dilakukan pada ketiga *client*, didapatkan bahwa tidak ada paket loss yang terjadi. Gambar 9 adalah display yang ditunjukkan oleh *software wireshark* yang digunakan untuk capture paket data yang yang dikirimkan. Semua paket sampai ke tujuan. Hal ini sangat baik mengingat paket loss merupakan salah satu faktor besar kecilnya sebuah *Quality of Service* (QoS).



Gambar 9. Packet Loss pada semua skenario

## V. KESIMPULAN

Teknologi Internet berkembang sangat pesat dan menyebabkan pertumbuhan aplikasi yang menggunakan Internet juga sangat pesat. Internet saat ini bukan saja digunakan untuk komunikasi namun juga untuk hiburan. Pertumbuhan Internet yang pesat tersebut menyebabkan para peneliti untuk menggunakan Internet pada semua lini kehidupan termasuk untuk memberikan layanan hiburan berupa siaran televisi. Terdapat dua jenis televisi yang menggunakan jaringan Internet yaitu televisi Internet dan IPTV. Televisi Internet pada dasarnya sama dengan televisi

biasa namun disalurkan melalui jaringan Internet. Sedangkan IPTV adalah pemanfaatan protocol TCP/IP untuk mengirimkan content vdeo sebagaimana televisi.

Penyedia layanan IPTV di Indonesia adalah PT. Telkom melalui Groovia TV. Namun saat ini IPTV yang tersedia masih merupakan komunikasi satu arah antara *server* sebagai penyedia *content* dan *client* sebagai pengguna. Pengguna menghendaki ia dapat berkomunikasi dengan pelanggan lain namun tetap dapat menonton siaran TV yang diperoleh dari penyedia. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan fasilitas komunikasi antar client tidak mempengaruhi kualitas penerimaan gambar dari server. Nilai parameter *throughput* terhadap client mempunyai nilai yang sama pada scenario pertama yang menunjukkan bahwa IPTV mempunyai nilai experience menonton yang sama, sehingga tidak ada perbedaan antar *user* yang satu dengan *user* yang lainnya. Namun pada skenario kedua terjadi perbedaan yang disebabkan adanya komunikasi antara *client* 1 dengan *client* 3. Penurunan kualitas terjadi pada komunikasi antar *client* dan bukan pada komunikasi antara *client* dan *server*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Tarkoma, Sasu. 2010. *Overlay Networks: Toward Information Networking*. CRC Press.
- [2]. <http://www.alexacom/topsites/global> dibuka terakhir pada tanggal 24 Oktober 2014.
- [3]. Brownson Obaridoa Obele, Seung Hee Han, Jun Kyun Choi, Minho Kang. 2009. *On Building a Successful IPTV Business Model based on Personalized IPTV Content & Services*. Proceeding pada 9th International Symposium on Communications and Information Technology.
- [4]. Yuh-Chung Lin, Chin-Shiuh Shieh, Bin-Yih Liao, Wei-Lun Tseng, Jui-Fang Chang. *Video-on-Demand with Differentiated QoS based on Available Bandwidth in IPTV*. Proceedings of the 2010 Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing.
- [5]. Yang, Xiao, Xiaojiang, Du, Jingyuan, Zhang, Fei, Hu, & Guizani, S. (2007). Internet Protocol Television (IPTV): The Killer Application for the Next-Generation Internet. *Communications Magazine, IEEE*, 45(11), 126-134. doi: 10.1109/MCOM.2007.4378332
- [6]. Zeadally, S., Moustafa, H., & Siddiqui, F. (2011). Internet Protocol Television (IPTV): Architecture, Trends, and Challenges. *Systems Journal, IEEE*, 5(4), 518-527. doi: 10.1109/JSYST.2011.2165601
- [7]. Held, Gilbert. 2007. *Understanding IPTV*. Auerbach Publications is an imprint of the Taylor & Francis Group, an informa business.
- [8]. [www.omnetpp.org](http://www.omnetpp.org)

# Rancang Bangun Generator Sinyal Frekuensi Radio untuk Terapi Kanker Hepatocellular Carcinoma

Gunawan Wibisono  
 Dept. Teknik Elektro - FTUI  
 Kampus Baru UI Depok  
 Indonesia 16424  
 Email: gunawan@eng.ui.ac.id

Suryo Adi Pribadi  
 Dept. Teknik Elektro - FTUI  
 Kampus Baru UI Depok  
 Indonesia 16424

**Abstract**—Penelitian skripsi ini bertujuan untuk merancang, membuat dan menganalisis rangkaian generator sinyal frekuensi radio dengan menggunakan komponen osilator, modulator, dan amplifier. Pada modulator, sinyal yang dihasilkan merupakan sinyal yang berasal dari rangkaian osilator gelombang pembawa dan pemodulasi. Kemudian, sinyal keluaran dari modulator akan dikuatkan melalui rangkaian penguat (amplifier) agar dapat menghasilkan daya yang lebih besar sehingga dapat digunakan untuk terapi. Pada penelitian ini, rangkaian generator sinyal berfungsi untuk menghambat pertumbuhan sel kanker dengan memanfaatkan resonansi sel yang terjadi antara frekuensi natural dengan frekuensi modulasi. Dalam pelaksanaannya, rangkaian generator ini terdiri dari dua rangkaian yang saling berhubungan, yaitu menggabungkan antara rangkaian osilator gelombang pembawa dan pemodulasi. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, didapatkan hasil bahwa rangkaian modulator menghasilkan tegangan keluaran efektif sebesar 124 mV(rms) dengan frekuensi sebesar 27.12 MHz. Kemudian, modulator dihubungkan dengan rangkaian penguat dan menghasilkan output dengan frekuensi sebesar 27.12 MHz dan tegangan sebesar 2.713 Volt. Setelah itu, dihubungkan ke dalam kabel koaksial dengan resistansi 50 Ohm akan menghasilkan daya keluaran sebesar 147.2 mV. Adapun komponen yang dibutuhkan dalam perancangan generator sinyal adalah pengaturan tegangan masuk (LM 317 dan LM337), osilator gelombang pembawa (AD9850), osilator gelombang modulasi (ICL8038), modulator (MC1496), dan penguat (LT1361). Setelah itu, rangkaian generator sinyal dihubungkan ke dalam sumber dengan tegangan Vcc sebesar 12 Volt dan Vee sebesar -8 Volt.

**Index Terms**—Radio Frequency Signal Generator, Hepatocellular Carcinoma (HCC), Oscillator, Modulator, Amplifier)

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini, pengaruh globalisasi tidak dapat dihindari. Hal ini disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya kemajuan teknologi. Kemajuan teknologi mengakibatkan terjadinya perubahan dalam gaya hidup yang memicu terserangnya penyakit mematikan, salah satunya kanker. Kanker merupakan suatu penyakit yang diakibatkan oleh pertumbuhan sel secara terus menerus yang mengganggu kerja dari suatu organ. Kanker dapat menjangkit berbagai organ tubuh, salah satunya hati.

Kanker hati merupakan salah satu jenis kanker yang paling sering ditemui oleh masyarakat. Hal ini terbukti dari besarnya kematian, yaitu sebesar 695.000 kasus per tahun (9.144%) [1]. Penyakit hati lebih sering terdapat pada pria daripada wanita, yaitu sebesar 70% [1]. Di Indonesia, tidak tersedianya data yang akurat mengenai jumlah penderita dari

penyakit ini sehingga tidak dapat menentukan prevalensi penderita penyakit ini.

Secara umum, kanker hati dibedakan menjadi dua macam, yaitu kanker hati primer dan sekunder. Kanker hati primer merupakan penyakit kanker yang berasal dari organ hati. Sedangkan, kanker hati sekunder merupakan hasil dari persebaran sel kanker yang berasal dari organ terdekat, misalnya paru – paru dan payudara [2]. Hepatocellular carcinoma (HCC) merupakan salah satu penyakit yang paling sering dijumpai pada penderita kanker hati primer. Kanker HCC umumnya terjadi karena ketidakseimbangan laju pembelahan sel yang lebih tinggi daripada kematian sel. Selain itu, penyakit ini juga didukung beberapa faktor, yaitu sirosis hati, infeksi (hepatitis B dan C), dan polusi baik secara makanan maupun udara.

Ketika seseorang didiagnosa menderita penyakit kanker hati, pemeriksaan dengan menggunakan beberapa alat, yaitu USG (Ultrasonografi), CT (Computed Tomography), MRI (Magnetic Resonance Imaging), FDG-FET (Fluorodeoxyglucose-positron emission tomography), AFT (alpha-fetoprotein), dan DCP (Des-gamma carboxyprothrombin). Setelah mengetahui tingkat keparahan dari penyakit yang diderita, dokter dapat menentukan jenis pengobatan yang dilakukan. Pengobatan utama yang dapat dilakukan adalah transplantasi hati. Namun kesulitan untuk mendapat donor dalam waktu yang singkat menyebabkan dibutuhkan pengobatan dengan metode lain. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah radioterapi.

Radioterapi merupakan terapi dengan menggunakan radiasi yang berasal dari energi radioaktif [3]. Terapi ini digunakan untuk mengurangi laju pertumbuhan bahkan membunuh sel kanker. Secara umum, radioterapi dibedakan menjadi tiga jenis [3], yaitu radiasi secara internal, eksternal, dan radiasi secara sistematis. Radiasi internal dilakukan dengan menggunakan suatu alat yang dimasukkan ke dalam tubuh atau lokasi yang dekat dengan kanker. Radiasi selanjutnya adalah secara eksternal. Radiasi ini dilakukan dengan alat yang memiliki daya yang besar terhadap penyakit kanker dan jaringan sekitar kanker tersebut. Ketiga, radiasi dapat dilakukan secara sistematis, yaitu radiasi yang dilakukan dengan menggunakan obat. Obat ini berisi sumber radioaktif yang dimasukkan melalui mulut atau pembuluh darah yang kemudian menuju seluruh tubuh.

Pengobatan melalui gelombang radio memiliki beberapa keunggulan [3], yaitu dari sisi cure, control, membantu pengobatan lain, dan symptom relief. Keunggulan pertama adalah radioterapi dapat digabungkan dengan metode pengobatan lainnya, seperti operasi atau kemoterapi. Kemudian, radioterapi dapat menghentikan pertumbuhan dan





modulator, dan juga penguatan hasil modulasi. Secara umum, proses pengujian dilakukan secara berkala sampai keluaran yang dihasilkan memiliki frekuensi yang mendekati simulasi.

Pertama, pengujian yang dilakukan adalah memastikan tegangan input  $V_{cc}$  sebesar 12 Volt dan  $V_{ee}$  sebesar -8 Volt. Namun, lab elektronika hanya menyediakan sumber tegangan sebesar  $\pm 15$  Volt. Oleh karena itu, penulis menggunakan rangkaian pembagi tegangan (voltage divider) pada kedua sisi. Pada  $V_{cc}$  ditambahkan komponen resistor dengan nilai 10  $\Omega$  dan 220  $\Omega$ . Sedangkan,  $V_{ee}$  ditambahkan komponen resistor sebesar 100  $\Omega$  dan 470  $\Omega$ . Gambar 4 merupakan rangkaian yang digunakan sebagai tegangan input



Gambar 4 Rangkaian Pembagi Tegangan di  $V_{cc}$  dan  $V_{ee}$

Berdasarkan perhitungan, kedua rangkaian ini menghasilkan dua macam input, yaitu 12.37 Volt (negatif) dan 14.35 Volt (positif). Kemudian, kedua output dari rangkaian ini diatur dengan menggunakan potensiometer sebesar 10 kOhm sehingga dapat menghasilkan tegangan input 12 dan -8 Volt.

Jika dibandingkan dengan simulasi, hasil pengukuran tidak memiliki perbedaan jauh dengan simulasi. Hal ini terlihat tegangan input baik  $V_{cc}$  maupun  $V_{ee}$  mengalami error yang sangat kecil sehingga dapat digunakan sebagai sumber tegangan input pada rangkaian modulator AM. Tabel 1 menjelaskan mengenai pengujian tegangan input

TABLE I. PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN TEGANGAN INPUT ANTARA SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Simulasi	Pengukuran	%Error
$V_{cc}$	12.1 Volt	12 Volt	0.83
$V_{ee}$	8.04 Volt	8 Volt	0.5

Pengukuran rangkaian osilator gelombang pembawa menggunakan catu daya sebesar 12 Volt yang berasal dari adaptor dan output-nya dihubungkan ke dalam osiloskop. Rangkaian osilator ini diharapkan agar memiliki output maksimal sebesar 300 mV(rms), frekuensi 27.12 MHz, dan berbentuk sinusoidal.

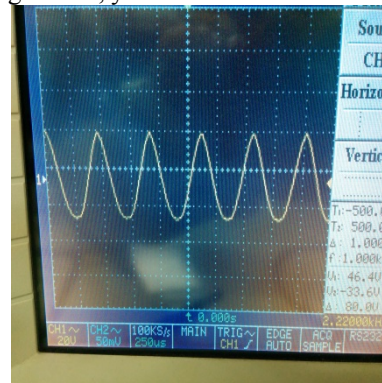
Pengukuran menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 27.12 MHz dan tegangan keluaran sebesar 123.725 mV. Hal ini sesuai dengan kriteria untuk menjadi sinyal input modulator yang tidak melebihi 300 mV. Oleh karena itu, rangkaian osilator gelombang pembawa tidak memerlukan komponen tambahan dan dapat digunakan untuk generator. Namun, jika dibandingkan dengan spesifikasi yang ada, persentase error sekitar 1 % sehingga dapat digunakan sebagai sumber osilator pada rangkaian modulator. Secara lengkap, perbandingan hasil antara simulasi dan pengukuran ditunjukkan pada Tabel II

TABLE II. PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN OSILATOR GELOMBANG PEMBAWA ANTARA SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Spesifikasi	Pengukuran	%Error
Frekuensi	27.12 MHz	27.12 MHz	0
$V_{out}$	125 mV	123.725 mV	0.5

Pada pengukuran rangkaian osilator untuk gelombang modulasi menggunakan catu daya berupa pembagi tegangan untuk menghasilkan input positif dan negatif yang diinginkan. Rangkaian osilator gelombang modulasi dihubungkan ke dalam tegangan input sebesar 12 Volt dan negatif 8 Volt dan output yang diharapkan adalah frekuensi sebesar 2221.323 Hz dan tegangan kurang dari 300 mV(rms)

Pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar 5 menghasilkan frekuensi output sebesar 2.22 kHz. Jika dibandingkan dengan simulasi memiliki persentase error yang sangat kecil, yaitu 0.059 %.



Gambar 5 Hasil Pengukuran Osilator Gelombang Modulasi

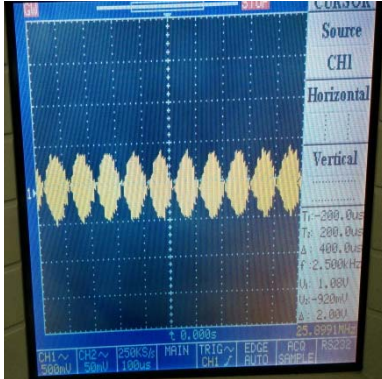
Untuk mendapatkan tegangan yang diinginkan, penulis menggunakan rangkaian pembagi tegangan dan menghasilkan tegangan output sebesar 340 mV peak atau 240.38 mV (rms). Jika dibandingkan dengan hasil simulasi, terdapat persentase error sebesar 15 %. Hal ini disebabkan dengan penggunaan jumper yang digunakan, yaitu berupa caput buaya. Selain itu komponen resistor digunakan memiliki persentase error sebesar 10% yang memungkinkan terjadinya perbedaan antara simulasi dengan fabrikasi yang dilakukan. Secara lengkap, perbandingan antara simulasi dengan pengukuran ditunjukkan pada Tabel III

TABLE III. PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN OSILATOR GELOMBANG MODULASI ANTARA SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Spesifikasi	Pengukuran	%Error
Frekuensi	2221.323 Hz	2.22 kHz	0.059
$V_{out}$ (sebelum voltage divider)	1.9 V	1.83282 V	3.66
$V_{out}$ (setelah voltage divider)	276.47 mV	240.38 mV	15.01

Pengukuran di modulator AM dapat dilakukan setelah penulis mendapatkan input yang ditentukan dari rangkaian osilator gelombang pembawa dan osilator gelombang modulasi. Setelah mendapatkannya, penulis menghubungkan output dari rangkaian osilator gelombang pembawa dengan test point carrier dan menghubungkan output dari komponen ICL8038 dan tes point modulasi.

Pengukuran dari rangkaian modulator yang ditunjukkan pada Gambar 6 menghasilkan frekuensi keluaran sebesar 25.8991 MHz dan tegangan 28.28 mV(rms). Dari sisi frekuensi sudah cukup mendekati simulasi karena memiliki persentase error kurang dari 5 %. Namun, terjadi perbedaan yang cukup jauh dari sisi tegangan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan jumper yang banyak sehingga noise yang ditimbulkan bertambah dan berdampak pada penurunan tegangan. Secara lengkap ditunjukkan pada Tabel IV.



Gambar 6 Hasil Pengukuran Modulator

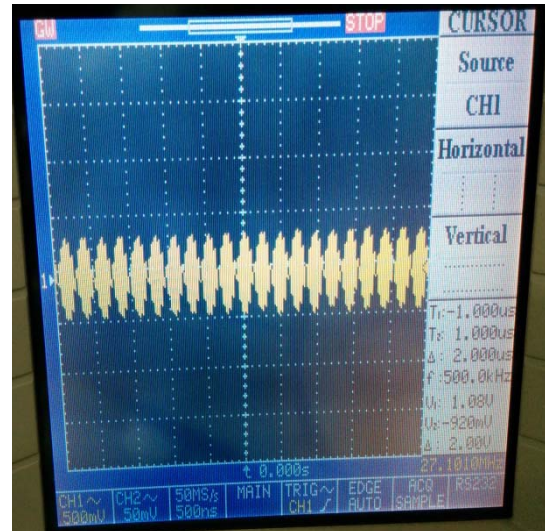
TABLE IV. PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN MODULATOR AM ANTARA SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Spesifikasi	Pengukuran	%Error
Frekuensi	27.12 MHz	25.8991 MHz	4.714
Vout	124 mV	28.28 mV	338.47

Setelah mendapatkan output terbaik dari rangkaian modulator, pengukuran selanjutnya adalah dengan menggabungkan antara output modulator dan rangkaian penguat (amplifier). Sumber tegangan yang diberikan ke dalam rangkaian penguat sebesar 12 dan -8 Volt sesuai dengan tegangan Vcc dan Vee yang dihasilkan.

Pada pengujian rangkaian penguat ini, memiliki frekuensi keluaran yang mendekati simulasi, yaitu 27.1010 MHz (Gambar 7) dan hanya memiliki persentase kesalahan kurang dari 1 %. Kemudian, terjadi peningkatan tegangan yang dapat dilihat pada Gambar 7, sebesar 1.08 V peak atau 763.56mV (rms). Walaupun demikian, peningkatan tegangan ini masih jauh dari simulasi, yaitu sebesar 2.713 V. Jika dihitung menggunakan persentase error mencapai 260%. Hal ini disebabkan oleh rendahnya tegangan modulator yang dihasilkan sehingga penguatan yang dilakukan tidak dapat bekerja secara maksimal. Kemudian, untuk pengukuran daya, penulis hanya menggunakan metode perhitungan. Metode pengukuran tidak dapat dilakukan karena kesulitan untuk memindahkan alat pengukur network analyzer dari laboratorium telekomunikasi ke dalam laboratorium elektronika. Metode perhitungan daya menggunakan hasil tegangan keluaran pada rangkaian amplifier dan komponen resistor sebesar 50 Ohm sebagai impedansi beban. Setelah itu, mendapatkan hasil sebesar 11.66 mW. Jika dibandingkan dengan simulasi, hasil pengukuran memiliki persentase kesalahan sebesar 1162.44%. Hal yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya yang dihasilkan adalah dengan meningkatkan tegangan input yang diberikan ke dalam komponen amplifier dan mengatur input dan output balance pada sisi modulator. Adapun data lengkap mengenai

perbandingan antara pengukuran dan simulasi ditunjukkan pada Tabel V



Gambar 7 Hasil Pengukuran Rangkaian Penguat

TABLE V. PERBANDINGAN HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN PENGUAT ANTARA SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Spesifikasi	Pengukuran	%Error
Frekuensi	27.12 MHz	27.1010 MHz	0.07
Vout	2.714 V	763.56 mV	255.31

#### IV. KESIMPULAN

1. Telah dapat dirancang dan fabrikasi rangkaian generator radio frekuensi yang dapat digunakan untuk mengobati penyakit kanker hati (*hepatocellular carcinoma*),
2. Rangkaian generator ini memiliki komponen utama, seperti osilator gelombang pembawa, osilator gelombang modulasi, dan modulator,
3. Rangkaian osilator gelombang pembawa menggunakan komponen AD9850 sebagai penghasil gelombang sinus dengan frekuensi sebesar 27.12 MHz dan menghasilkan tegangan efektif sebesar 123,725 mV,
4. Rangkaian osilator gelombang modulasi menggunakan komponen ICL 8038 yang dapat menghasilkan frekuensi sebesar 2.22 kHz dan menghasilkan tegangan *peak* sebesar 340 mV atau 240.38 mV untuk tegangan efektif (rms)
5. Rangkaian modulator menggunakan komponen MC1496 menghasilkan frekuensi sebesar 25.8991 MHz dan menghasilkan tegangan efektif sebesar 28.28 mV,
6. Rangkaian *amplifier* menggunakan komponen LT 1361 menghasilkan frekuensi sebesar 27.1010 MHz dan menghasilkan tegangan efektif sebesar 763.56 mV dan dihubungkan dengan resistor sebesar 50 Ohm memiliki daya keluaran sebesar 11.66 mW.

#### PERNYATAAN

Penelitian ini didanai oleh Riset Strategis Nasional, Direktorat Jenderal Perguruan Tinggi Kemendiknas, tahun 2014

## REFERENCES

- [1] Anonim. "Cancers: The Problem". [http://www.who.int/nmh/publications/fact\\_sheet\\_cancers\\_en.pdf](http://www.who.int/nmh/publications/fact_sheet_cancers_en.pdf). Diakses tanggal 13 Juni 2014.
- [2] Anonim. "Primary Liver Cancer". <http://www.patient.co.uk/health/Cancer-of-the-Liver-Primary>. Diakses tanggal 7 Juli 2014.
- [3] Australia, Cancer Council. (2012). Understanding Radiotherapy. Cancer Council New South Wales
- [4] Mothoneos, Jenny. (2012). Understanding Radiotherapy: A Guide for Patients and Families. Cancer Council Australia
- [5] Instrument, Texas. (2013). "3 – Terminal Adjustable Regulator (Check for Samples : LM317)". <http://www.ti.com>. diakses pada 26 Juni 2014
- [6] Semiconductor, On. (2012). "1.5 A, Adjustable Output, Negative Voltage Regulator". <http://onsemi.com>. diakses tanggal 26 Juni 2014.
- [7] Devices, Analog, (2004), "CMOS, 125 MHz Complete DDS Synthesizer: AD9850", [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD9850.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD9850.pdf). diakses tanggal 15 Juli 2014
- [8] Semiconductor, Harris. (1998). "Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator". <http://web.mit.edu/6.331/www/icl8038data.pdf>. Diakses tanggal 26 Juni 2014.
- [9] Semiconductor, On. (2006). "Balanced Modulators/Demodulators". <http://onsemi.com>. Diakses tanggal 23 Juni 2014.
- [10] Technology, Linear. "LT1361/LT1362". <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/13612fa.pdf>. diakses pada 15 Juli 2014

# ANALISA KONDISI GENERATOR TRANSFORMER MENGGUNAKAN METODE *THERMOGRAPHY*

H.Aliief Maulana<sup>1</sup>, Didik Aribowo<sup>2</sup>, Inawati<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jendral Sudirman KM 4, Cilegon, Banten

E-mail : alief.m09@gmail.com, aribowo82@yahoo.co.id, inawati151@gmail.com

**Abstrak** -- Transformator merupakan salah satu bagian paling penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan daya tanpa mengubah frekuensi listrik. Sebagai peralatan listrik, trafo tidak lepas dari fenomena kegagalan (*failure*), baik kegagalan *thermal* maupun kegagalan *elektris*. Jika kegagalan ini berlangsung terus menerus maka akan menyebabkan kerusakan (*breakdown*). Padahal perbaikan trafo tidaklah mudah dan tidak dapat dikerjakan dalam waktu yang singkat. hal ini nantinya akan berdampak pada sejumlah kerugian *financial* yang sangat besar. Untuk menghindari terjadinya kerusakan tersebut maka di PT Indonesia Power UBP suralaya dilakukan sebuah pemantauan atau monitoring dengan menggunakan metode *Thermography*. Teknik *thermography* telah banyak digunakan pada area listrik Akhir-akhir ini, teknik *thermography* infra merah mulai dikembangkan untuk memantau kondisi suatu peralatan mekanik. Teknik ini didasarkan pada teknik pemantauan suhu suatu permukaan benda dengan menggunakan detektor infra merah. Dengan teknik ini perbedaan suhu sebesar  $0,1^{\circ}\text{C}$  dapat dideteksi. Dari pengalaman inspeksi, terbukti bahwa teknik *thermography* dapat mendeteksi anomali suatu peralatan listrik seperti generator transformer 1 secara dini. Apabila diikuti dengan perbaikan sesegera mungkin, maka kegagalan generator transformer 1 di PT Inonesia Power dapat diantisipasi.

**Kata kunci:** Generator Transformer, *Thermogphy*, *Inframerah*, Suhu

## I. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu bagian paling penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan daya tanpa mengubah frekuensi listrik. Sebagai peralatan listrik, trafo tidak lepas dari fenomena kegagalan (*failure*), baik kegagalan *thermal* maupun kegagalan *elektris*. Jika kegagalan ini berlangsung terus menerus maka akan menyebabkan kerusakan. Padahal perbaikan trafo tidaklah mudah dan tidak dapat dikerjakan dalam waktu yang singkat. hal ini nantinya akan berdampak pada sejumlah kerugian *financial* yang sangat besar.

Salah satu penyebab utama munculnya kegagalan pada trafo adalah adanya arus berlebih. Panas berlebih biasanya ditimbulkan oleh berbagai faktor seperti beban lebih, rugi *histerisis* dan arus *eddy*, adanya proses oksidasi yang menghasilkan karat, air dan lain-lain. Panas berlebih akan memicu reaksi berantai yang akan mempercepat penurunan usia dan kualitas kerja, sehingga nantinya akan membuat trafo mengalami kerusakan.

Trafo memerlukan berbagai macam pengujian, Dalam penelitian kali ini penulis memilih untuk melakukan pengujian kondisi fisik yaitu melalui panas dari trafo dengan menggunakan metode *thermography*. *Thermography* adalah

ilmu melakukan akuisi dan analisis informasi termal dari gambar yang diperoleh dari peralatan kamera termal, Teknik *thermography* telah banyak digunakan pada area listrik Akhir-akhir ini, teknik *thermography* infra merah mulai dikembangkan untuk memantau kondisi suatu peralatan mekanik. Teknik ini didasarkan pada teknik pemantauan suhu suatu permukaan benda dengan menggunakan detektor infra merah. Dengan teknik ini perbedaan suhu sebesar  $0,1^{\circ}\text{C}$  dapat dideteksi.

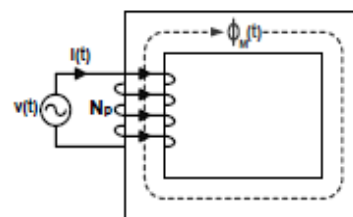
## II. TINJAUAN TEORI

### 2.1 Transformator

Transformator atau transformer atau trafo adalah peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya (mentransformasikan tegangan) .. Berbeda dengan mesin listrik yang lain, pada trafo tidak terjadi konversi energi mekanik-listrik atau sebaliknya. Trafo adalah mesin listrik yang tegangan serta arus nya adalah AC. Transfer energi terjadi melalui induksi elektromagnetik.

### 2.2 Prinsip Kerja Transformator

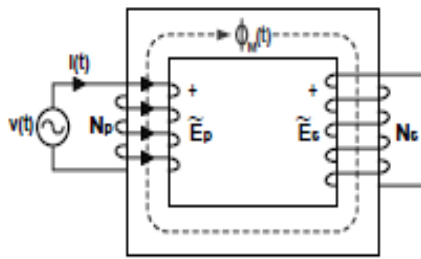
Berdasarkan pada (gambar 3.1), trafo bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika rangkaian primer diberikan tegangan AC ( $V_p$ ), maka akan timbul arus ( $I_p$ ). Arus tersebut akan menimbulkan fluks magnet ( $\Phi$ ) yang berubah terhadap waktu pada inti, sesuai dengan Hukum Faraday.



Gambar 1. Tegangan Pada Rangkaian Primer  
(www.bagianbagiantrafo.com)

$$V(t) = N_p \frac{d\Phi(t)}{dt} \quad (1)$$

Fluks magnet akan menginduksi belitan pada rangkaian sekunder, sehingga pada rangkaian sekunder timbul GGL. Polaritas dari GGL induksi tersebut berlawanan dengan sumbernya.



Gambar 2. Tegangan Pada Rangkain Sekunder  
(www.bagianbagiantrafo.com)

$$E_s = N_s \frac{d\phi_m(t)}{dt} \quad (2.2)$$

Nilai GGL induksi yang dihasilkan juga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_s = 4,44 f N_s \hat{\phi}_m$$

dimana:

$E_s$  = Tegangan induksi

$f$  = frekwensi

$N_s$  = jumlah lilitan

$\hat{\phi}_m$  = flux maksimum

### 2.3 Thermography

Teknologi *thermography* merupakan salah satu peralatan teknologi *Non Destructive Testing Non-Contact* yang dapat digunakan untuk kegiatan *preventive maintenance, predictive maintenance, quality control, safety control, testing & commissioning* atau *NDT of materials evaluation* dan memungkinkan pengukuran temperatur dari jarak tertentu tanpa menyentuh obyek yang diukur secara scanning serta mendeteksi perubahan temperatur hingga 0,1 °C, sehingga mampu mengkondisikan material komponen yang mengalami perubahan.

Dengan demikian metoda ini sangat efisien dan efektif untuk kegiatan inspeksi pada komponen, peralatan maupun instalasi listrik yang sedang beroperasi pada sistem kelistrikan, sehingga dapat diketahui kerusakannya secara dini.

Prinsip kerja teknologi ini adalah dengan mengukur pancaran energi panas suatu bahan atau komponen kemudian mengkonversikannya menjadi suatu peta temperatur bahan atau komponen tersebut. Dengan mengetahui perbedaan peta temperatur dari bahan atau komponen yang diuji secara dini, akurat dan cepat maka dapat diketahui kondisi penyimpangan yang terjadi peralatan listrik yang salah satu contohnya adalah trafo

### 2.4 Kamera Inframerah *Themography*

Kamera inframerah sendiri itu ada 3 tipe yaitu

- Tipe E series
- Tipe T series
- Tipe P series

Dari ketiga tipe itu yang paling diunggulkan adalah tipe P, karena memiliki resolusi gambar yang bagus tapi tentu saja tipe ini harganya relatif mahal dibandingkan 2 tipe yang lain. Di PT indonesia power sendiri saat ini menggunakan Tipe T serie 425



Gambar 3. kamera Tipe T series 425

(www.flir.com/uploadedFiles/Thermography\_APAC/Products/Product\_Literture/vpr\_FLIR\_t425\_dataS\_AUS-LR,2013)

Bagian-bagian dari kamera

- LCD Display
- Batere
- Tutup Batere (3.3)
- Lensa
- Mini SDCard
- LED

Dari Lcd Display atau layar bisa menampilkan:

- Sistem menu
- Hasil gambar
- Indikator daya atau power
- Tanggal dan waktu
- Nilai batas untuk skala temperature
- Skala temperature
- Nilai emisivity

Untuk penggunaan kamera ini sama seperti kamera pada umumnya tapi harus memperhatikan kaidah pengukuran lapangannya:

- Pastikan anda aman
- Fokus dan stabil
- Pilih range temperature yang benar
- Ketahui jarak kerja optimum
- Pengukuran kualitatif dan kuantitaif
- Pilih latar belakang sesederhana mungkin
- Pilih area yang memiliki emisifitas tinggi
- Peganglah kamera dengan stabil

### 2.6 Software FLIR QuickReport 1.2

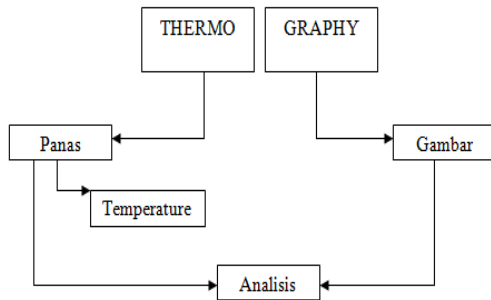
Software FLIR QuickReport 1.2, memungkinkan pengguna untuk mengatur dan menganalisa gambar radiometrik dari kamera inframerah. Cara penggunaan software ini sangat sederhana tinggal memasukan gambar yang tersimpan di Mini SDCard yang telah diambil dari kamera infra merah kedalam komputer yang memiliki software tersebut



Gambar 4. software FLIR (indonesia power, 2013)

III. ANALISA KONDISI GENERATOR TRANSFORMER

3.1 Teknik *Thermography*

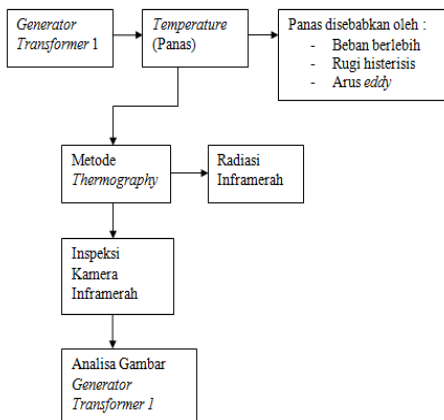


Gambar 5. Teknik *Thermography*

Keunggulan menggunakan metode *thermography* untuk peralatan listrik terutama transformator adalah:

- Bisa mengukur tanpa perlu menyentuh objek
- Pengukuran dilakukan dengan jarak aman yaitu jarak 16.0 m dari transformator.
- Tidak mengganggu atau berpengaruh pada transformator.
- Dapat memeriksa objek yang bergerak karena pemeriksaan ini dilakukan secara *online*
- Biaya perbaikan rendah.
- Tidak perlu dilakukan *shut down* pada saat inspeksi.
- Kerusakan lebih besar dapat dihindari.
- Resiko kebakaran dan keselamatan dapat ditekan dengan menghindari terjadinya kecelakaan.

3.2 Metode *Thermography* Pada Generator Transformer



Gambar 6. Metode *Thermography* pada *Generator Transformer*

3.3 Standar *Thermography*

Standar yang digunakan untuk menganalisa gambar termal adalah standar yang dikeluarkan dari EPRI (Electric Power Research Institute) sebuah tim yang melakukan penelitian tentang industri tenaga listrik di Amerika Serikat

Tabel 1. Objek dan Suhu Operasi Referensi kenaikan Temperatur dan kelas EPRI

OBJEK	SUHU OPERASI REFERENSI (°C)
Terminasi biasa, MCB	45-50
Body transformator besar	60
Bus bar	50
Contactora besar	70
Contactora kecil	65
Sambungan contactora dan overload relay	75
Breaker besar	60
Breaker kecil	55
Terminasi fuse	50
Terminasi trafo besar	55

Tabel 2. Kenaikan Temperatur dan kelas EPRI *Standard of Thermography inspection FLIR*

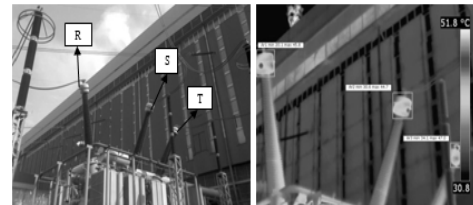
TEMPERATURE RISE (°C)	PRIORITY	CLASS
0 - 9	MONITOR	0
10 - 29	REPAIR AT NEXT PLANNED OUTAGE	1
30 - 50	SCHEDULE UNPLANNED OUTAGE	2
>50	REPAIR IMMEDIATELY	3

Tabel 3. *Standard of Thermography* Standar IR *Thermography* berdasarkan Kelas Insulasi.

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp	< 5°C	5°C - 10°C	11°C - 20°C	21°C - 40°C	>40°C
Max Temp < 75°C	Normal	Low	Medium	High	Critical
75°C - 100°C	Information of overloading	Medium	High	Critical	Critical
>100°C	Information of high overloading	Critical	Critical	Critical	Critical

Tabel 4. *Thermography* berdasarkan Kelas Insulasi.

Kelas	Internal	Eksternal	Kenaikan
A	105°	85°	60°
B	130°	110°	80°
F	155°	135°	105°
H	180°	160°	125°



Gambar 4.4 Bushing (indonesia power, 2013)

Objek	Bushing
Lokasi	Suralaya
Beckground Temp	30°C
Temp min	14,8°C
Temp max	45,1°C
Referenci tem	60°C
Camera model	T series 425
Date	29/8/2013 8.41.51 AM
Emissivity	0,95
Object distance	16,0 m

Gambar 8. Bushing

### 3.4 Analisa Gambar

Dalam pengambilan gambar transformator dengan menggunakan kamera inframerah, ada beberapa hal yang harus diperhatikan :

1. Waktu yang paling baik untuk pengambilan gambar adalah pada saat pagi hari ataupun malam hari untuk menghindari kontak langsung dengan matahari.
2. Perhatikan suhu sekitar.
3. Harus diperhatikan latar atau beckground disekitar transformator yang akan diambil gambarnya dan diusahakn tidak ada objek lain karena bisa mengganggu fokus dari kamera inframerah.
4. Fokus ke target pengambilan gambar.



Gambar 4.3 RST output generator (indonesia power, 2013)

Objek	Fasa R S T
Lokasi	Suralaya
Beckground Temp	30°C
Referenci tem	60°C
Temp min	42,7 °C
Temp max	69,6°C
Camera model	T series 425
Date	29 /8/2013 8.48.50 AM
Emissivity	0,95
Object distance	16,0 m

Gambar 7. RST Output generator

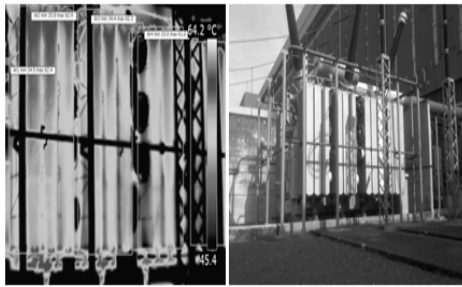


Gambar 4.5 Body Generator Transformer 1 (indonesia power, 2013)

Objek	Body GT 1
Lokasi	Suralaya
Beckground Temp	30°C
Temp min	35,8°C
Temp max	62,1°C
Referenci tem	60°C
Camera model	T series 425
Date	29/8/ 2013 8.44.02 AM
Emissivity	0,95
Object distance	16,0 m

Gambar 9. Body Generator Transformer





Gambar 4.6 Radiator Kiri (Indonesia power, 2013)

Objek	Radiator Kiri
Lokasi	Suralaya
Background Temp	30°C
Temp min	34,8°C
Temp max	63,2°C
Referensi tem	60°C
Camera model	T series 425
Date	29/8/2013 8.42.56 AM
Emissivity	0,95
Object distance	16,0 m

Gambar 10. Radiator Kiri



Gambar 4.7 Radiator Kanan (Indonesia power, 2013)

Objek	Radiator Kanan
Lokasi	Suralaya
Background Temp	30°C
Temp min	24,2°C
Temp max	61,6°C
Reference temp	60°C
Camera model	T series 425
Date	29/8/2013 8.49.57 AM
Emissivity	0,95
Object distance	16,0 m

Gambar 11. Radiator kanan

Dari 5 gambar yang telah diambil dengan menggunakan kamera inframerah *thermography*, yang berupa RST output generator, Bushing, Body GT 1, Radiator kanan dan Kiri. Suhu yang terdeteksi dikamera inframerah masih dalam keadaan normal karena suhu masih dibawah standar

EPRI yang merupakan standar yang digunakan dalam inspeksi *thermography*.

#### IV. PENUTUP

##### 4.1 Kesimpulan

Dari pengamatan dan pengujian yang telah dilaksanakan dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Cara kerja kamera inframerah yaitu mendeteksi dan mengukur gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh material dan di-*scan* melalui lensa dan filter khusus yang dideteksi menjadi *thermal image* (peta temperature gradien) yang kemudian dapat dilihat pada monitor atau *view finder* dan langsung direkam sekaligus diukur temperturnya.
2. Penelitian yang penulis lakukan untuk kondisi *Generator Transformer* dalam keadaan normal dan hanya membutuhkan pemantauan atau monitoring rutin agar bila terjadi kerusakan akan diketahui sedini mungkin

##### 4.2 Saran

Saran yang mampu penulis berikan adalah:

1. Agar *generator transformer* yang ada pada sistem yang ada, harus dapat mencukupi daya yang dibutuhkan oleh beban yang akan diberikan agar tidak terjadi panas berlebih sehingga menyebabkan *drop* tegangan pada transformator.
2. Agar perawatan pada *generator transformer* lebih efektif sebaiknya dalam 1 bulan dilakukan 2 kali pengambilan gambar *thermography*.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. PT PLN, 2003, "Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga", Jakarta : PT PLN P3B.
2. "Facilities, Instruction, Standard and Technique volume 3-30" 2003. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation.
3. Anonim, 2011, Basic Training *thermography*.
4. Digdayanti, Risti Nurita, 2011, "Analisis Minyak Trafo Pada Generator Transformer Unit 3 Di PT. Indonesia Power " Laporan Kerja Praktek: Univervrsitas Sultan Ageng Tirtayasa
5. [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&ved=0CGsQFjAI&url=http%3A%2F%2Fstaff.uny.ac.id%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FSEMINAR%2520SOSIOLOGI.pdf&ei=tu5IUsurCs6Hrgft2YGgCA&usg=AFQjCNGcXfsBPFQ\\_vadACEF5BoQMTexRQ](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=9&cad=rja&ved=0CGsQFjAI&url=http%3A%2F%2Fstaff.uny.ac.id%2Fsites%2Fdefault%2Ffiles%2FSEMINAR%2520SOSIOLOGI.pdf&ei=tu5IUsurCs6Hrgft2YGgCA&usg=AFQjCNGcXfsBPFQ_vadACEF5BoQMTexRQ) (URL dikunjungi pada tanggal 18 agustus 2013)
6. <http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=8&cad=rja&ved=0CE8QFjAH&url=http%3A%2F%2Fwww.batan.go.id%2Fptrkn%2Ffile%2Ftkpfn13%2F22.Ari.pdf&ei=ifRIUr6zC4fsrAfOzoCQDQ&usg=AFQjCNEu5E2nTYFVmLBSnLFrljKWuf-jFA> (URL dikunjungi pada tanggal 21 agustus 2013)
7. [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CD0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.flir.com%2FuploadedFiles%2FThermography\\_APAC%2FProducts%2FProduct\\_Literture%2Fvpr\\_FLIR\\_t425\\_dataS\\_AUSLR.pdf&ei=L\\_VIUoSXClqBrgflkYDgDA&usg=AFQjCNE2JYru03MPA0s6tEI1fCBJ1Xe3Aw](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CD0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.flir.com%2FuploadedFiles%2FThermography_APAC%2FProducts%2FProduct_Literture%2Fvpr_FLIR_t425_dataS_AUSLR.pdf&ei=L_VIUoSXClqBrgflkYDgDA&usg=AFQjCNE2JYru03MPA0s6tEI1fCBJ1Xe3Aw) (URL dikunjungi pada tanggal 21 agustus 2013)
8. <http://www.cctvcameraindonesia.com/how-do-infrared-cameras-work/> (URL dikunjungi pada tanggal 29 september 2013)
9. <http://reosa.blogspot.com/2012/10/bagaimana-cara-kerja-kamera-inframerah.html> (URL dikunjungi pada tanggal 30 september 2013)

# Penerapan *Static Var Compensation* Untuk Perbaikan Faktor Daya dan Distorsi Harmonisa Pada Jaringan Distribusi Tenaga Listrik di PT Krakatau Steel Cold Rolling Mill

Suhendar<sup>1</sup>, Nofri Ardella<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jendral Sudirman KM.3 Kota Cilegon  
suhendar@ft-untirta.ac.id; nofri\_pegasus@yahoo.co.id

**Abstrak** -- Gangguan sistem kelistrikan yang timbul akibat penggunaan beban yang memerlukan daya relatif besar berupa harmonisa dan jatuh tegangan dapat mengakibatkan kinerja peralatan berkurang untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan peralatan berupa *Static Var Compensator (SVC)*. enggunaan *SVC* diperlukan untuk memperbaiki faktor daya dan pengurangan arus harmonisa, *SVC* terdiri dari dua peralatan utama yaitu *TCR (Thyristor Controlled Reactor)* dan *Filter* circuit.

*SVC* memiliki kemampuan untuk mengkompensasi harmonisa arus jala-jala. *THD* arus jala-jala sebelum terpasang *SVC* adalah 2.8 % dan setelah terpasang *SVC* turun menjadi 0.48 % dengan kenaikan faktor daya dari 0,71 menjadi 1, faktor daya yang kurang baik pun akan mengakibatkan biaya listrik meningkat, dengan pemasangan sistem ini biaya penghematan sebesar 27,7 %.

**Kata kunci** : *SVC, THD, Faktor daya, TCR, Filter circuit*

## I. PENDAHULUAN

Proses industri untuk pembuatan baja dingin di PT.Krakatau Steel Cold Rolling Mill menggunakan peralatan yang relatif memerlukan daya yang besar, dengan penggunaan peralatan yang besar timbul gangguan-gangguan akibat adanya ketidakstabilan dalam penggunaan listrik. Gangguan sistem kelistrikan yang timbul dapat berupa frekuensi harmonisa, fluktuasi tegangan, jatuh tegangan, dan kedip tegangan (*flicker*). Cara mengatasi atau memperkecil hal tersebut maka sangat diperlukan suatu alat atau sistem yang dinamakan *Static Var Compensator (SVC)*.

Komponen utama dari *SVC* ini terdiri dari *TCR (thyristor controlled reactor)* dan *Filter circuit*. Terpasangnya *SVC* yang terdiri dari *TCR (thyristor controlled reactor)* dan rangkaian kapasitor diharapkan suplai energi listrik tetap terjaga dan kualitas daya listrik yang disalurkan memiliki kualitas yang baik.

## II. DASAR TEORI

### 2.1 Sistem Daya Listrik

#### 1. Daya Aktif

Daya aktif adalah jumlah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya. Daya yang diserap oleh beban sama dengan jatuh tegangan (*voltage drop*) pada beban tersebut dikalikan dengan arus yang mengalir melewati beban. Rumus daya listrik secara umum dinyatakan dalam persamaan 2.1.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \theta \quad (2.1)$$

dimana,  $P$  = daya listrik (watt)

$V$  = tegangan kerja rangkaian (volt)

$I$  = arus yang mengalir (ampere)

$\theta$  = beda fasa antara tegangan dan arus (dalam derajat)

Daya aktif inilah yang biasanya dikonversikan dalam bentuk kerja. Daya aktif sangat dibutuhkan oleh beban untuk dapat bekerja dengan baik. Dalam energi listrik, daya dikatakan baik apabila nilai dari arus adalah sefasa dengan tegangan.

#### 2. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah suatu daya yang biasanya digunakan elemen reaktif seperti induktor dan kapasitor. Daya ini merupakan daya yang dibutuhkan untuk pembentukan medan magnet. Umumnya daya reaktif dilambangkan dengan notasi  $Q$  dan dinyatakan dengan persamaan :

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \theta \quad (2.2)$$

dimana,  $Q$  = daya reaktif (VAR)

#### 3. Daya Nyata

Daya nyata (*apparent power*) adalah daya yang diproduksi oleh perusahaan sumber listrik untuk didistribusikan ke konsumen, yaitu hasil perkalian antara harga rms (*root mean square*) dari tegangan dan arus dalam suatu jaringan. Nilai rms merupakan nilai efektif dalam suatu pengukuran. Daya nyata ( $S$ ) dinyatakan melalui persamaan 2.3.

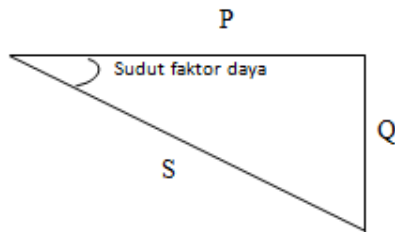
$$S = V \cdot I \quad (2.3)$$

dimana,  $S$  = daya nyata (VA)

Jika nilai tegangan dan arus sudah diketahui, maka perhitungan untuk daya nyata  $P$  dan daya reaktif  $Q$  dapat dilakukan. Kuantitas yang dibentuk ini disebut juga sebagai daya kompleks. Dalam bentuk kompleks, daya nyata dinyatakan lewat persamaan 2.4.

$$S = P + jQ \quad (2.4)$$

Hubungan antara daya aktif, daya reaktif dan daya nyata dapat dinyatakan dalam hubungan segitiga daya, yang ditunjukkan Gambar 2.1



Gambar 2.1 Segitiga Daya

#### 4. Faktor Daya

Faktor daya (*power factor, PF*), biasanya disebut  $\cos \theta$ , merupakan harga perbandingan antara daya aktif ( $P$ ) dengan daya nyata ( $S$ ), sesuai persamaan 2.10. Jika beban listrik bersifat induktif, maka fasa arus akan tertinggal dari fasa tegangan sebesar  $\theta^\circ$ . Keadaan ini disebut *lagging* (tertinggal). Tetapi jika beban listrik bersifat kapasitif, maka fasa arus akan mendahului fasa tegangan dan kondisi ini disebut *leading* (mendahului).

$$PF = \cos \theta = \frac{P(\text{Watt})}{S(\text{VA})}$$

Faktor daya yang baik adalah faktor daya yang bernilai besar. Secara teori, faktor daya dapat mencapai 100 % (atau bernilai 1). Namun dalam kenyataannya faktor daya tidak dapat mencapai 100 %. Jika rangkaian beban mempunyai faktor daya mendekati 1, maka besar arus yang mengalir akan mencapai nilai minimumnya, dan sebaliknya.

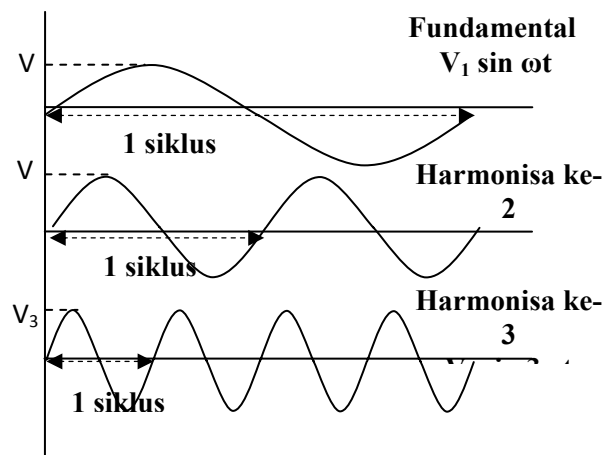
#### 5. Harmonisa Tegangan

Harmonisa merupakan suatu permasalahan yang terjadi akibat dioperasikannya beban non-linear. Beban non-linear mengganggu gelombang tegangan yang sinusoidal, yang mengakibatkan bentuk gelombang keluarannya menjadi tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Distorsi gelombang ini timbul karena adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi yang berbeda dari frekuensi dasarnya, yaitu dikenal sebagai frekuensi harmonisa. Gelombang-gelombang ini menumpang pada gelombang aslinya, sehingga terbentuklah gelombang cacat. Terdapat beberapa komponen harmonisa dalam suatu periode gelombang sinus yang terdistorsi, misalnya harmonisa ke-1, ke-2, ke-3, dan seterusnya. Besarnya frekuensi harmonisa sesuai dengan persamaan 2.5. Gambar 2.2 menunjukkan gelombang tegangan fundamental, harmonisa kedua, dan harmonisa ketiga.

$$f_n = n \times f_1 \quad (2.5)$$

dimana,  $n$  = bilangan bulat positif

$f_1$  = frekuensi fundamental



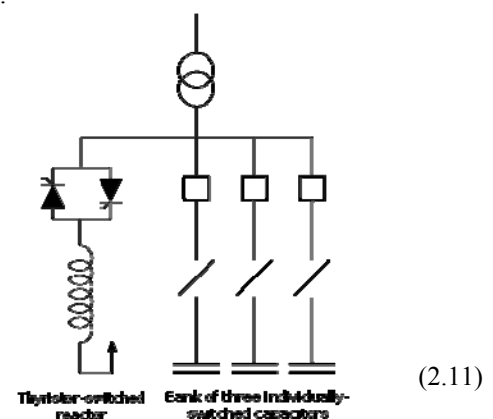
Gambar 2.2 Tegangan Fundamental, Harmonisa Kedua, dan Harmonisa Ketiga

#### 6. Static Var Compensator

Static VAR Compensator (atau disebut SVC) adalah peralatan listrik untuk menyediakan kompensasi fast-acting reactive power pada jaringan transmisi listrik tegangan tinggi. SVC adalah bagian dari sistem peralatan AC transmisi yang fleksibel, pengatur tegangan dan menstabilkan sistem. Istilah "static" berdasarkan pada kenyataannya bahwa pada saat beroperasi atau melakukan perubahan kompensasi tidak ada bagian (part) SVC yang bergerak, karena proses komensasi sepenuhnya dikontrol oleh sistem elektronika daya.

Jika power sistem beban reaktif kapasitif (*leading*), SVC akan menaikkan daya reaktor untuk mengurangi VAR dari sistem sehingga tegangan sistem turun. Pada kondisi reaktif induktif (*lagging*), SVC akan mengurangi daya reaktor untuk menaikkan VAR dari sistem sehingga tegangan sistem akan naik.

Pada SVC pengaturan besarnya VAR dan tegangan dilakukan dengan mengatur besarnya kompensasi daya reaktif induktif pada reaktor, sedangkan kapasitor bank bersifat statis.



Gambar 2.3. One-line Diagram dari konfigurasi SVC

##### a. Fungsi

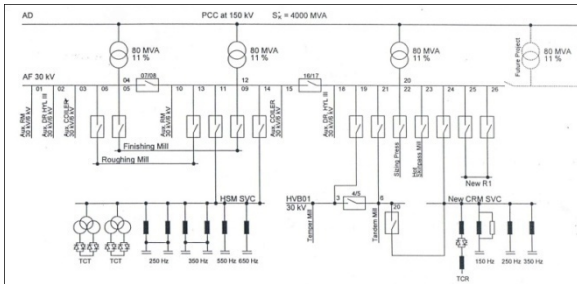
SVC dapat dengan cepat memberikan supply daya reaktif yang diperlukan dari sistem sehingga besarnya tegangan pada gardu induk dapat dipertahankan sesuai dengan standar yang diizinkan. Kestabilan tegangan pada gardu induk akan meningkatkan kualitas tegangan yang

sampai kekonsumen, mengurangi losses dan juga dapat meningkatkan kemampuan penghantar untuk mengalirkan arus.

Secara lebih rinci fungsi SVC adalah :

1. Meningkatkan kapasitas system transmisi.
2. Kontrol tegangan.
3. Pengontrol daya reaktif
4. Mereduksi harmonisa
5. Memperbaiki stabilitas jaringan AC.
6. Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN



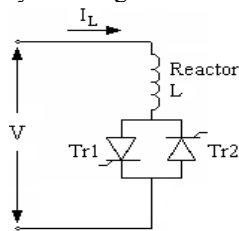
Gambar 3.1 single line diagram PT.KS CRM

Komponen *static var compensator* (SVC)

Komponen utama dari static var compensator antara lain:

#### 1. TCR (*Thyristor Controlled Reactor*)

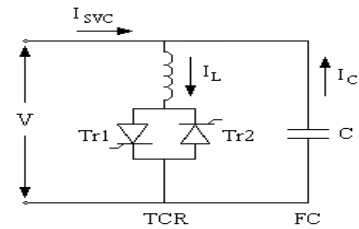
Komponen dasar dari *static var compensator* jenis TCR terdiri dari suatu *reactor* atau induktansi  $L$  dan thyristor tipe SCR dengan *gate* anti paralel (*bidirectional*) yang dihubungkan secara seri. Rangkaian ini digunakan untuk mengatur daya reaktif induktif yang dihasilkan oleh *reactor* dengan mengatur tegangan pada *reactor*. Thyristor dapat menghantarkan arus apabila diberikan pulsa penyalan pada *gate* thyristor, kemudian secara otomatis akan segera memutuskan hantarnya saat arus AC melewati nol, kecuali jika sinyal penyalan digunakan kembali.



Gambar 3.2. Rangkaian *Thyristor Controlled Reactor* (TCR) Fasa Tunggal

#### 1) TCR - FC

Pada kompensator var statik (*static var compensator*/SVC) jenis konfigurasi TCR-FC, kapasitor *fixed* dihubungkan paralel dengan TCR. Dengan demikian reaktansi atau arus dari kompensator var statik dapat diubah terus menerus diantara nilai minimum dan maksimumnya sebagai fungsi dari sudut hantaran (konduktansi). Kompensator gabungan ini dapat bekerja dalam keseluruhan faktor daya *leading* dan *lagging*.



Gambar 3.3. Rangkaian Kompensator Var Statik Jenis TCR-FC Fasa Tunggal

#### 2) Sistem Pendinginan TCR

Sistem pendingin digunakan untuk menjaga temperatur thyristor agar tidak terjadi *over heating* ketika beroperasi. Pendinginan thyristor kompensasi CRM menggunakan sistem pendinginan dengan media air secara *close loop circuit*. Air untuk mendinginkan thyristor menggunakan air dionat (air yang mempunyai konduktivitas kecil). Air dionat setelah mendinginkan thyristor didinginkan lagi oleh service water dari WTP PT. Krakatau Steel CRM.

#### 2. Filter Circuit

Didalam sistem konversi daya penyearah tegangan tinggi, arus harmonik dibangkitkan yang kemudian mempengaruhi sistem jaringan bolak-baliknya dan akan menghasilkan tegangan-tegangan harmonik pada impedansi jaringan. Frekuensi harmonik tersebut akan mempengaruhi frekuensi dasarnya, pengaruh lain dari pada frekuensi harmonik tersebut terhadap frekuensi dasarnya adalah merubah bentuk gelombang sinusoida. Pengaruh lain dari pada arus harmonik adalah *overheat* pada trafo, putaran motor DC, dengan adanya frekuensi harmonik tersebut pada jaringan bolak-balik dan pengaruhnya seperti tersebut di atas, maka diperlukan suatu pembatasan dengan jalan memasang rangkaian filter.

Rangkaian *filter* adalah rangkaian yang terdiri dari *reactor* dan *capacitor shunt*. Rangkaian *filter* CRM ada 3 unit yang masing-masing 150Hz, 250Hz, dan 350Hz.

Filter yang terpasang menyuplai daya kompensasi total adalah

$$Q_{\text{filter}} = 50 \text{ MVAr}$$

Fungsi dari filter circuits adalah :

- Untuk filter arus harmonik pada jaringan
- Mengimbangi daya reaktif induktif, mengurangi tekanan pada Transformer dan jaringan akibat beban reaktif, sehingga meningkatkan faktor daya system.

#### 1) Reactor

Reaktor *shunt* digunakan untuk mengkompensasi efek kapasitansi saluran, terutama untuk membatasi kenaikan tegangan pada rangkaian terbuka dan beban. Reaktor *shunt* dipasang secara permanen pada saluran untuk membatasi frekuensi pada saat terjadi tegangan berlebih.



Gambar 3.4. Reactor

Reaktor tambahan juga diperlukan untuk menjaga nilai tegangan pada saat kondisi beban rendah. Reaktor tambahan tersebut dapat dipasangkan pada bus EHV atau pada bagian lilitan tersier transformator. Pada saat kondisi beban berlebih reaktor harus dilepas dengan memutus *circuit breaker*.

### 2) Capacitor Shunt (bank kapasitor)

Bank kapasitor digunakan secara luas pada sistem distribusi untuk perbaikan faktor daya dan pengaturan tegangan *feeder*. Pada saluran transmisi, kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi rugi-rugi  $XI^2$  dan memastikan tegangan terjaga pada *level*-nya pada saat beban penuh.

Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya buta, yang kemudian akan dapat menimbulkan jatuh tegangan di sisi penerima. dengan melakukan pemasangan bank kapasitor, beban akan mendapatkan suplai daya buta. Kompensasi yang dilakukan oleh bank kapasitor, akan dapat mengurangi penyerapan daya buta sistem oleh beban. dengan demikian jatuh tegangan yang terjadi dapat dikurangi.

Pengaturan tegangan dengan menggunakan bank kapasitor, selain dapat memperbaiki nilai tegangan juga dapat meningkatkan nilai faktor daya. Sebab dengan memasang bank kapasitor, akan dapat mengurangi penyerapan daya buta oleh beban. Dengan berkurangnya nilai daya buta yang diserap oleh beban, akan dapat meningkatkan nilai faktor daya.



Gambar 3.5. Capacitor Shunt

Proses stabilitas tegangan, kapasitor bank berguna untuk mendorong generator terdekat beroperasi dengan faktor daya mendekati satu. Bank kapasitor dengan ukuran yang tepat dapat dihubungkan langsung dengan bus tegangan tinggi atau dengan bagian lilitan tersier transformator.

Pemasangan bank kapasitor, agar nilai arus induktif yang mengalir ke beban akan berkurang. Sebab beban mendapatkan suplai daya buta dari komponen bank kapasitor.

### 3) Damping resistor

Damping resistor terpasang pada rangkaian filter 150 Hz

### 4) Sistem Pendinginan FC

Sistem pendinginan pada *Filter Circuit* menggunakan air cooling system (pendinginan dengan udara) yaitu suatu sistem pendinginan suatu peralatan dengan media pendingin berupa udara.

Perbaikan Faktor Daya

Besar Daya aktif dan daya reaktif pada beban di CRM dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data beban

Load	P (MW)	Q (MVar)
Existing Tandem Mill Main Drives	9,56	8,25
Tandem Mill Auxiliaries	13,6	13,18
Loop car	0,4	1,2
Tandem bridle	1,3	2,1
Subtotal Tandem Mill	24,9	24,7
Temper Mill Main Drives	0,24	0,984
Temper Mill Auxiliaries	11,07	9,92
Uncoiler	1,07	1
Entry bridle	1,8	1,7
Stand 1	2,66	2,62
Stand 2	2,66	2,62
Exit bridle	0,89	0,88
Tension reel	2,4	2,38
Subtotal Temper Mill	11,3	10,9
Total CRM	47,7	46,85

Total daya aktif (P) pada CRM sebesar 47.7 MW dengan daya reaktif beban 46.85 MVar, sehingga untuk besar daya reaktif yang terkompensasi oleh TCR sebesar :

$$Q_{\text{filter}} = 50 \text{ MVar}$$

$$Q_{\text{load}} = 46.85 \text{ MVar}$$

$$Q_{\text{TCR}} = Q_{\text{filter}} - Q_{\text{load}} \\ = 50 - 46.85 \text{ MVar} \\ = 3,15 \text{ MVar}$$

$$\text{Maka, } Q_{\text{AF19}+\text{AF21}} = Q_{\text{load}} + Q_{\text{TCR}} + Q_{\text{filter}} \\ = 46.85 + 3.15 - 50 \\ = 0 \text{ MVar}$$

Sehingga;

$$\sin \theta = \frac{Q}{S}$$

$$\text{Arc sin } \theta = 0^\circ$$

$$\theta = 0^\circ$$

$$\text{Maka, } \cos \theta = 1$$

Dengan dipasangnya SVC maka perbaikan kualitas daya berupa naiknya nilai faktor daya dan turunnya THD sehingga rugi-rugi daya berkurang, efisiensi meningkat dan penghematan biaya operasional yang signifikan. Tabel 3.3 menunjukkan perbaikan kualitas daya akibat terpasangnya static var compensation.

Perhitungan Total Harmonik Distorsi (THD)

Tabel 3.2 Nilai arus harmonisa sebelum terpasang SVC

Harmonic no	IHD	Harmonic no	IHD
2	0,24	8	0,1
3	0,15	9	0,23
4	0,07	10	0,08
5	0,46	11	0,66
6	0,09	12	0,03
7	0,37	13	0,29

Arus harmonic pada orde ganjil akan menuju ke *Filter circuit* 150 Hz, 250 Hz dan 350 Hz dengan data masing-masing filter dan arus harmonic yang masuk dapat dilihat Data Filter dan Arus Harmonic masing-masing ialah:

1. Filter 150 Hz
  - Q kompensasi = 10 MVA<sub>r</sub>
  - Induktansi = 34,88 mH
  - Kapasitansi = 32,28 uF
  - Quality Factor* ( Q ) = 130
  - Arus Fundamental ( I<sub>1</sub> ) = 202 A
  - Arus Hamonic
    - I<sub>2,6</sub> = 44 A
    - I<sub>3</sub> = 21 A
    - I<sub>3,4</sub> = 18 A
2. Filter 250 Hz
  - Q kompensasi = 20 MVA<sub>r</sub>
  - Induktansi = 5,97 mH
  - Kapasitansi = 68,07 uF
  - Quality Factor* ( Q ) = 130
  - Arus Fundamental ( I<sub>1</sub> ) = 404 A
  - Arus Hamonic
    - I<sub>4</sub> = 110 A
    - I<sub>5</sub> = 247 A
    - I<sub>6</sub> = 32A
    - I<sub>11</sub> = 14 A
    - I<sub>13</sub> = 11 A
    - I<sub>17</sub> = 4 A
3. Filter 350 Hz
  - Q kompensasi = 20 MVA<sub>r</sub>
  - Induktansi = 2,98 mH
  - Kapasitansi = 69,24 uF
  - Quality Factor* ( Q ) = 130
  - Arus Fundamental ( I<sub>1</sub> ) = 404 A
  - Arus Hamonic
    - I<sub>4</sub> = 61 A
    - I<sub>7</sub> = 196 A
    - I<sub>11</sub> = 37 A
    - I<sub>13</sub> = 29 A
    - I<sub>17</sub> = 11 A
    - I<sub>23</sub> = 8 A

Kemudian dihitung pula nilai *THD* arus (*I<sub>THD</sub>*) dari masing-masing filter dengan menggunakan persamaan 2.16:

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}$$

- Filter 150 Hz

$$I_{HD} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{44^2 + 21^2 + 18^2}}{202} = 0.25\%$$

- Filter 250 Hz

$$I_{HD} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{110^2 + 247^2 + 32^2 + 14^2 + 11^2 + 4^2}}{404} = 0.675\%$$

- Filter 350 Hz

$$I_{HD} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{61^2 + 196^2 + 37^2 + 29^2 + 11^2 + 8^2}}{404} = 0.522\%$$

Sehingga Total Harmonic tersebut adalah

$$I_{THD} = \frac{\sum I_{HD}}{I_1} = \frac{0.25 + 0.675 + 0.522}{3} = 0.48 \%$$

Tabel 3.3 perbandingan sebelum terpasang dan sesudah terpasang SVC

Data	Sebelum di pasang SVC	Setelah di pasang SVC
S	66 MVA	47.7 MVA
P	47.7 MW	47.7 MW
Q	46.85 MVA <sub>r</sub>	0 MVA <sub>r</sub>
Cos $\theta$	0,71	1
Harmonic	2.8 %	0,48 %
Effisiensi biaya penghematan	100 % - $\left(\frac{47.7}{66} \times 100\%\right) = 27.7 \%$	

#### IV. PENUTUP

Kesimpulan

1. SVC (*Static Var Compensator*) adalah komponen FACTS (Flexible AC Transmission Systems) dengan hubungan paralel, yang fungsi utamanya untuk mengatur tegangan pada bus tertentu dengan cara mengatur besaran reaktansi ekuivalen. Dalam penggunaannya untuk pembangkitan dan penyerapan daya reaktif dengan rentang kendali dari kapasitif maksimum ke induktif maksimum dan sebaliknya, sistem ini terdiri dari TCR-FC (*Thyristor Controlled Reactor with Fixed Capacitor*), dan Filter circuit.
2. SVC (*Static Var Compensator*) memiliki fungsi sebagai berikut:
  - Memperbaiki stabilitas jaringan AC.
  - Memperbaiki faktor daya
  - Mengurangi arus harmonisa
  - Mencegah terjadinya ketidakstabilan tegangan
3. SVC memiliki kemampuan untuk mengkom-pensasi harmonisa arus jala-jala. THD arus jala-jala sebelum terpasang SVC adalah 2.8 % dan setelah terpasang SVC turun menjadi 0.5 % dengan kenaikan faktor daya dari 0,71 menjadi
4. Meningkatkan faktor daya. Untuk industri besar seperti industri baja sangat penting sekali untuk menjaga atau meningkatkan faktor daya, karena dengan faktor daya yang kurang baik akan mengakibatkan biaya listrik meningkat, dengan pemasangan sistem ini biaya penghematan sebesar 27,7 %.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Siemens. 1997. *Power Transmission and Distribution Manual SVC*. PT.KS : Siemens.
- [2] Power Distribution PT KS CRM. 1997. *Instruksi Kerja Pemeliharaan SVC*. Cilegon : PT KS
- [3] Yahya Chusna Arif, Indhana Sudiarto, Hendik Eko HS, 2007. *Teknik Pengurangan Arus Inrush Pada Kapasitor Bank Untuk Beban Nonlinier*. Surabaya : Jurnal EEPIS
- [4] J. Arrillaga, D. A. Bradley, P. S. Bodger, 1985. "*Power Systems Harmonics*", England: John Wiley & Sons Ltd
- [5] Jos Arrillaga, Bruce C Smith Neville R Watson, Alan R Wood.1997. *Power Systems Harmonics Analysis*. England: John Wiley & Sons Ltd
- [6] Fikri M, Ahmad. 2010. *Estimasi Distorsi Harmonik Pada Sistem Tenaga Berbasis Jaringan Syaraf Tiruan*. Cilegon : FT.Untirta

# ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRAFODISTRIBUSI UNTUK IDENTIFIKASI BEBAN LEBIH SERTA ESTIMASI JATUH TEGANGAN PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH

Alimuddin<sup>1</sup>, Suhendar<sup>2</sup>, Herudin<sup>3</sup>, Teguh Firmansyah<sup>4</sup>, Roni Sachroni<sup>5</sup>  
<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Elektro FT. UNTIRTA Cilegon, Indonesia

alimudyuntirta@yahoo.co.id<sup>1</sup>,suhendar\_tebet@yahoo.com<sup>2</sup>,  
 herudin h3ru3r1l@yahoo.co.id<sup>3</sup>,sachrooney@gmail.com<sup>4</sup>

**Abstract** – The imbalance of the load on a power distribution system is always the case and the cause of the imbalance is in the single phase loads on the customer and the wiring/connecting customers to the low voltage distribution systems that do not pay attention to the load on each phase. So that will affect many things, such as: the performance of the transformer, the excess heat in the load phase is more, the current flowing in the neutral wire, the voltage drop at the end of the load over the network phase. And ultimately the quality of electric power at the consumer level to decrease. In this study, the load distribution is used to reduce the load imbalance in the distribution system. Equal distribution of load carried by road, moving expenses (house connections) of the heavy phase (on JTR) to the lighter phase. Results of analysis indicate the load on the transformer condition KWS D imbalance dropped to 11.02%, 30.87% of HR transformers, transformer BCT at 25.22%, amounting to 4.62% BKS transformer, and transformer STCH of 12.72%.

**Keywords:** *Unbalanced, Drop Voltage, Over Load, Reconnecting.*

**Abstrak** – Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan dan wiring / penyambungan pelanggan ke sistem distribusi tegangan rendah yang tidak memperhatikan beban di masing - masing fasa. Sehingga akan berpengaruh terhadap banyak hal, seperti: kinerja trafo, panas berlebih pada fase beban lebih, arus mengalir pada kawat netral, drop tegangan ujung pada jaringan fase beban lebih. Dan pada akhirnya kualitas tenaga listrik di tingkat konsumen menurun. Dalam penelitian ini, pemerataan beban digunakan untuk menekan ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi. Pemerataan beban dilakukan dengan jalan, memindahkan beban (sambungan rumah) dari fase yang berat (pada JTR) ke fase yang lebih ringan. Hasil analisa menunjukkan Kondisi ketidakseimbangan beban pada trafo KWS D menurun menjadi 11,02 %, trafo SDM sebesar 30,87 %, trafo BCT sebesar 25,22 %, trafo BKS sebesar 4,62 %, dan trafo STCH sebesar 12,72 %.

**Kata Kunci:** Ketidakseimbangan, Jatuh Tegangan, Beban Lebih, Pemerataan Beban.

## 1. Pendahuluan

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukung seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut,

terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakkan waktu penyalan beban-beban tersebut maka akan menimbulkan ketidakseimbangan beban [1] yang akan menimbulkan pula pembebanan lebih pada trafo distribusi. Masalah beban lebih pada trafo distribusi adalah apabila penyulang yang terhubung dengan trafo distribusi yang membawa suatu total kVA lebih besar dari kapasitas nominal trafo distribusi yang diijinkan [2]. Dan sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, dan fasa T) mengalir arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi) [1,3,4]. Karena arus beban berubah-ubah, maka *losses* (rugi-rugi) juga tidak konstan bergantung pada beban [3]. Hal ini terbukti dengan terjadinya jatuh tegangan di semua bagian sistem yang akan berubah dengan adanya perubahan beban. Sehingga akan berdampak pada terganggunya penyediaan listrik. [7]

Tegangan ujung penerimaan ini akan semakin rendah apabila jarak konsumen ke pusat pelayanan cukup jauh. [8] Apabila jatuh tegangan yang terjadi melebihi batas toleransi yang diijinkan, maka secara teknis akan mengakibatkan terganggunya kinerja peralatan listrik konsumen seperti berbagai jenis lampu, alat-alat pemanas dan motor-motor listrik. Oleh karena itu, ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi perlu diperhatikan agar tidak terjadi rugi-rugi yang besar pada jaringan tegangan rendah. Sehingga distribusi ke konsumen tidak terganggu.

Pada penelitian Analisa Aliran Daya Beban Tidak Seimbang Tenaga Listrik Dengan Gauss Seidel Dan Newton Raphson [2] telah dijelaskan bagaimana cara penggunaan MATLAB untuk menganalisa aliran daya pada sistem 3 bus 3 saluran, jaringan standar IEEE 5 bus 7 saluran dan jaringan standar IEEE 14 bus 20 saluran. Pada penelitian ini metode aliran daya yang digunakan adalah metode *Gauss-Seidel* dan *Newton-Raphson* untuk mengetahui perbandingan antara metode *Gauss-Seidel* dan *Newton-Raphson*. Namun pada penelitian ini tidak membahas proses perbaikan ketidakseimbangan tersebut.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk memperbaiki ketidakseimbangan beban adalah dengan melakukan penyeimbangan yang bertujuan untuk menjaga agar profil beban selalu berada pada batas-batas yang diijinkan. Alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pemerataan beban pada tiap phasanya.

Pada penelitian sebelumnya yaitu pertama, Saudi Nur (2007), Analisa Aliran Daya Beban Tidak Seimbang Tenaga Listrik Dengan Gauss Seidel Dan Newton Raphson telah dijelaskan bagaimana cara penggunaan MATLAB untuk menganalisa aliran daya pada sistem 3 bus 3 saluran, jaringan standar IEEE 5 bus 7 saluran dan jaringan standar

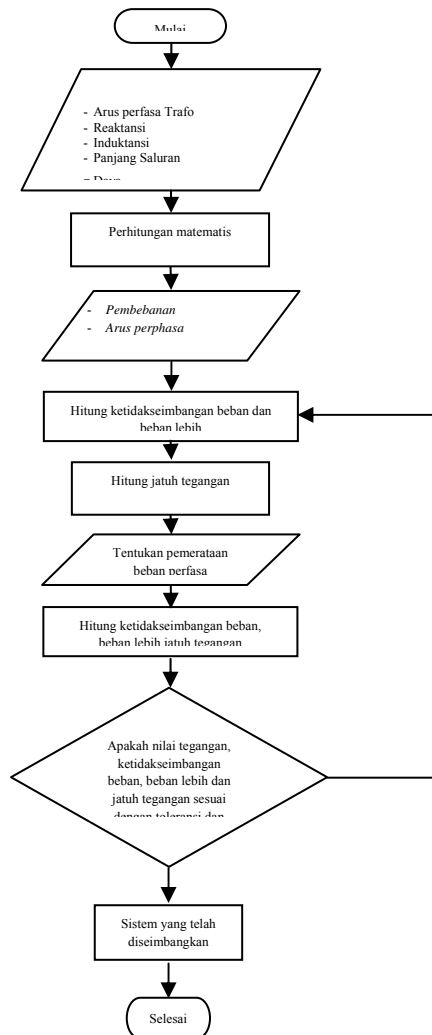




TBS	250000	230	240	213	0.4608	0.3572	0.8798
BAS	160000	154	166	168	0.9217	0.379	0.35684
LITA	160000	153	161	168	0.4608	0.3572	0.37908

Tabel 2. Data Penghantar SUTM Penyulang Kota.

Luas penampang	RT	OD (Outside Diameter)	GMR	Impedance			
				R-T1	R-T2	X	Y
35mm <sup>2</sup>	0.25	0.75	0.00272	0.9217	0.84568	0.379	
70 mm <sup>2</sup>	0.225	1.125	0.00426	0.4608	0.42279	0.3572	1.71517
150 mm <sup>2</sup>	0.225	1.575	0.00605	0.2162	0.19837	0.3305	



Gambar 2. Flowchart Sistem.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Hasil Analisis Ketidakseimbangan, Beban Lebih dan Jatuh Tegangan Sebelum Perbaikan

Untuk menganalisa ketidakseimbangan beban pada trafo maka harus dibandingkan dengan arus deviasi dengan arus rata-rata tiap fasa pada trafo. Persamaan yang digunakan untuk mencari % ketidakseimbangan beban adalah persamaan 2-1, sebagai berikut :

$$\text{Ketidakseimbangan arus} = \frac{\text{deviasi arus maksimum dari arus perphasa dengan rata-rata arus}}{\text{rata-rata arus (A)}} \times 100\%$$

Pada trafo KWSD dengan data sebagai berikut :

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_{avr} = \frac{148+178+203}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IR}| = |148-176,33| = 28,33 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IS}| = |178-176,33| = 1,67 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IT}| = |203-176,33| = 26,67 \text{ A}$$

$$\text{Ketidakseimbangan (\%)} = \frac{28,33}{176,33} \times 100\% = 16,07 \%$$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada trafo SDM yaitu sebesar 52,11 %, trafo BCT yaitu sebesar 33,54 %, trafo BKS yaitu sebesar 13,84 % dan trafo STCH yaitu sebesar 25,34 %.

Untuk mengidentifikasi adanya beban lebih pada trafo maka harus dibandingkan dengan arus nominal dengan arus perfasa dari tiap trafo. Persamaan yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya beban lebih adalah persamaan 2-2, sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Pada trafo KWSD dengan data sebagai berikut :

$$S = 160 \text{ kVa}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_n = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 380} \times 0,8 = 194,48 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IR}| = |148-194,48| = 46,48 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IS}| = |178-194,48| = 16,48 \text{ A}$$

$$|\Delta_{IT}| = |203-194,48| = 8,52 \text{ A}$$

Karena nilai  $I_T > I_n$  maka teridentifikasi adanya beban lebih pada fasa T. Jadi besarnya beban lebih terjadi pada fasa T trafo KWSD yaitu sebesar 8,52 A.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada trafo SDM, trafo BCT, trafo BKS dan trafo STCH seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 3 Kondisi Beban Lebih Pada Trafo.

No	Nama Trafo	Arus	$I_n$	Ket
1	KWSD	$I_R = 148 \text{ A}$	194,48 A	$I_R < I_n$
		$I_S = 178 \text{ A}$		$I_S < I_n$
		$I_T = 203 \text{ A}$		$I_T > I_n$
2	SDM	$I_R = 144 \text{ A}$	121,55 A	$I_R > I_n$
		$I_S = 91 \text{ A}$		$I_S < I_n$
		$I_T = 49 \text{ A}$		$I_T < I_n$
		$I_R = 344 \text{ A}$		$I_R > I_n$
3	BCT	$I_S = 183 \text{ A}$	303,87 A	$I_S < I_n$
		$I_T = 299 \text{ A}$		$I_T < I_n$
4	BKS	$I_R = 291 \text{ A}$	303,87 A	$I_R < I_n$
		$I_S = 283 \text{ A}$		$I_S < I_n$
		$I_T = 351 \text{ A}$		$I_T > I_n$

No	Nama Trafo	Arus	In	Ket
5	STCH	$I_R = 154 \text{ A}$	121,55 A	$I_R > I_n$
		$I_S = 175 \text{ A}$		$I_S > I_n$
		$I_T = 109 \text{ A}$		$I_T < I_n$

Untuk estimasi jatuh tegangan dalam kondisi takseimbang pada trafo maka diperlukan koefisien arus perfasa dari tiap trafo. Persamaan yang digunakan untuk estimasi jatuh tegangan adalah persamaan 2-17, sebagai berikut :

$$\Delta V = (a + b + c) \times I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta),$$

dimana

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$Q = I^2 \cdot X$$

$$I_R = a \cdot I$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$I_T = c \cdot I$$

Perhitungan jatuh tegangan pada trafo KWSD dengan jenis kabel saluran AAAC 70 mm<sup>2</sup>, dengan data sebagai berikut :

$$R = 0,4608 \ \Omega / \text{km}$$

$$X = 0,3572 \ \Omega / \text{km}$$

$$l = 2.34643 \text{ km}$$

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata}} = \frac{148 + 178 + 203}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$|\Delta_{I_R}| = |148 - 176,33| = 28,33 \text{ A}$$

$$|\Delta_{I_S}| = |178 - 176,33| = 1,67 \text{ A}$$

$$|\Delta_{I_T}| = |203 - 176,33| = 26,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{Takseimbang}} = \frac{28,33}{176,33} = 0,1607 \text{ A}$$

$$a = \frac{148}{176,33} = 0,84 \text{ A}$$

$$b = \frac{178}{176,33} = 1,01 \text{ A}$$

$$c = \frac{203}{176,33} = 1,15 \text{ A}$$

$$P = 0,4608 (0,1607)^2 = 0,0119 \text{ Watt}$$

$$Q = 0,3572 (0,1607)^2 = 0,0092 \text{ Var}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{0,0119}{\sqrt{0,0119^2 + 0,0092^2}} = 0,6581$$

$$\Delta V = 3 \times 0,1607 \times 2.34643 \times (0,4608 \times \cos 0,6581 + 0,3572 \times \sin 0,6581) = 0,65953 \text{ V}$$

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada trafo SDM yaitu sebesar 0,26641 V, trafo BCT yaitu sebesar 0,26630 V, trafo BKS yaitu sebesar 0,20978 V dan trafo STCH yaitu sebesar 0,09846 V.

### 3.2 Hasil Analisis Ketidakseimbangan, Beban Lebih dan Jatuh Tegangan Setelah Perbaikan

Untuk menganalisa ketidakseimbangan beban pada trafo maka harus dilakukan pemerataan beban pada jaringan tegangan rendah. Pemerataan beban dilakukan dengan jalan,

memindahkan beban ( $I_{\text{fasa terbesar}}$  dari  $I_{\text{rata-rata}}$ ) dari fasa yang berat (pada JTR) ke fasa yang lebihringan.

- a. Pada trafo KWSD dengan data sebagai berikut :

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata}} = \frac{148 + 178 + 203}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$\Delta_{I_R} = 148 - 176,33 = -28,33 \text{ A}$$

$$\Delta_{I_S} = 178 - 176,33 = 1,67 \text{ A}$$

$$\Delta_{I_T} = 203 - 176,33 = 26,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{dipindah}} = \frac{28,33}{3} = 8,89 \text{ A}$$

I(A)	I <sub>dipindah</sub> (A)	I <sub>perbaikan</sub> (A)
$I_R = 148 \text{ A}$	$I_R = 8,89$	$I_R = 156,89$
$I_S = 178 \text{ A}$	$I_S = 8,89$	$I_S = 186,89$
$I_T = 203 \text{ A}$	$I_T = -17,78$	$I_T = 185,22$

(-) : artinya dipindahkan

$$|\Delta_{I_R}| = |156,89 - 176,33| = 19,44 \text{ A}$$

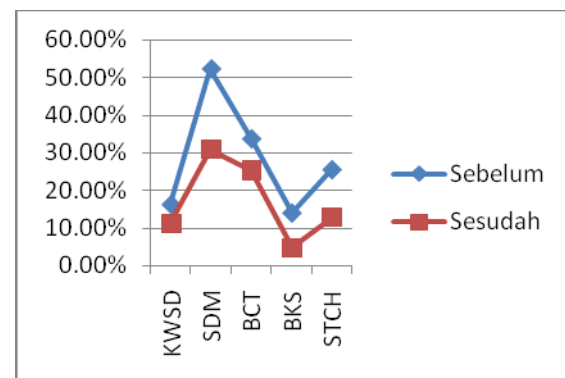
$$|\Delta_{I_S}| = |186,89 - 176,33| = 10,56 \text{ A}$$

$$|\Delta_{I_T}| = |185,22 - 176,33| = 8,89 \text{ A}$$

$$\text{Ketidakseimbangan (\%)} = \frac{19,44}{176,33} \times 100\% = 11,02 \%$$

Jadi besarnya ketidakseimbangan pada trafo KWSD yaitu sebesar 11,02 %.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada trafo SDM yaitu sebesar 30,87 %, trafo BCT yaitu sebesar 25,22 %, trafo BKS yaitu sebesar 4,62 % dan trafo STCH yaitu sebesar 17,72 %.



Gambar diatas menunjukkan grafik perbandingan ketidakseimbangan beban Sebelum Dan Setelah Perbaikan Terdapat beberapa sample trafo dari Penyulang Kota diantaranya adalah trafo KWSD, trafo SDM, trafo BCT, trafo BKS dan trafo STCH. Sebelum dilakukan perbaikan yaitu pemerataan beban, kondisi ketidakseimbangan beban pada trafo KWSD sebesar 16,07 %, trafo SDM sebesar 52,11 %,trafo BCTsebesar 33,54 %,trafo BKSsebesar 13,84 %, dan trafo STCHsebesar 25,34 %. Setelah dilakukan perbaikan yaitu pemerataan bebanpada tiap fasanya, maka nilai ketidakseimbangan beban pada trafo-trafo tersebut mengalami penurunan. Kondisi ketidakseimbangan beban pada trafo KWSD menurun menjadi 11,02 %, trafo SDM sebesar 30,87 %, trafo

BCT sebesar 25,22 %, trafo BKS sebesar 4,62 %, dan trafo STCH sebesar 12,72 %.

Untuk mengidentifikasi adanya beban lebih pada trafo maka harus dilakukan pemerataan beban pada jaringan tegangan rendah. Pemerataan beban dilakukan dengan jalan, memindahkan beban ( $I_{\text{fasa}}$  terbesar dari  $I_{\text{rata-rata}}$ ) dari fasa yang berat (pada JTR) ke fasa yang lebih ringan. Kemudian dibandingkan dengan arus nominal dengan arus per fasa dari tiap trafo. Persamaan yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya beban lebih adalah persamaan 2-2, sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Pada trafo KWSD dengan data sebagai berikut :

$$S = 160 \text{ kVa}$$

$$V = 380 \text{ V}$$

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{148+178+203}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IR} = 148 - 176,33 = -28,33 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IS} = 178 - 176,33 = 1,67 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IT} = 203 - 176,33 = 26,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{dipindah}} = \frac{26,67}{3} = 8,89 \text{ A}$$

I(A)	I <sub>dipindah</sub> (A)	I <sub>perbaikan</sub> (A)
I <sub>R</sub> = 148 A	I <sub>R</sub> = 8,89	I <sub>R</sub> = 156,89
I <sub>S</sub> = 178 A	I <sub>S</sub> = 8,89	I <sub>S</sub> = 186,89
I <sub>T</sub> = 203 A	I <sub>T</sub> = -17,78	I <sub>T</sub> = 185,22

(-) : artinya dipindahkan

$$I_n = \frac{160000}{\sqrt{3} \cdot 380} \times 0,8 = 194,48 \text{ A}$$

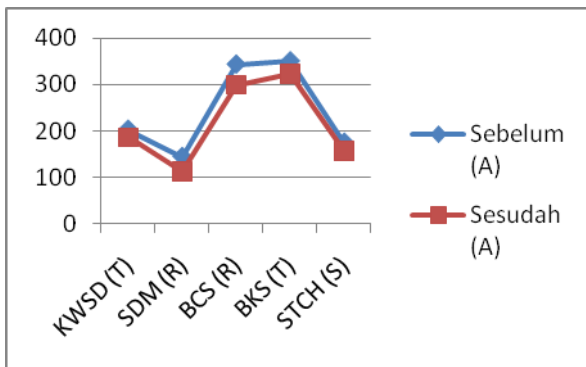
$$\Delta I_{IR} = 156,89 - 194,48 = -37,59 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IS} = 186,89 - 194,48 = -7,59 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IT} = 185,22 - 194,48 = -9,26 \text{ A}$$

Karena nilai  $I_R$ ,  $I_S$  dan  $I_T < I_n$  maka tidak teridentifikasi adanya beban lebih pada fasa R, S dan T. Sementara besarnya beban lebih yang terjadi pada fasa T trafo KWSD menurun sebesar 9,26 A.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada fasa R trafo SDM menurun sebesar 10,43 A, pada fasa R trafo BCT menurun yaitu menjadi 5,65 A, pada fasa T trafo BKS menurun sebesar 18,69 A dan pada fasa S trafo STCH menurun yaitu menjadi 34,11 A



Gambar

diatas menunjukkan grafik perbandingan beban lebih Sebelum Dan Setelah Perbaikan. Terdapat beberapa sample trafo dari Penyulang Kota diantaranya adalah trafo KWSD,

trafo SDM, trafo BCT, trafo BKS dan trafo STCH. Sebelum dilakukan perbaikan yaitu pemerataan beban, kondisi beban lebih pada trafo KWSD fasa T sebesar 203 A, trafo SDM fasa R sebesar 144 A, trafo BCT fasa R sebesar 344 A, trafo BKS fasa T sebesar 351 A, dan trafo STCH fasa S sebesar 175 A. Setelah dilakukan perbaikan yaitu pemerataan beban pada tiap fasanya, maka nilai ketidakseimbangan beban pada trafo-trafo tersebut mengalami penurunan. Kondisi ketidakseimbangan beban pada trafo KWSD fasa T menurun menjadi 185,22 A, trafo SDM fasa R sebesar 111,12 A, trafo BCT fasa R sebesar 298,22 A, trafo BKS fasa T sebesar 322,56 A, dan trafo STCH fasa S sebesar 155,66 A.

Untuk estimasi jatuh tegangan dalam kondisi takseimbang pada trafo maka harus dilakukan pemerataan beban pada jaringan tegangan rendah. Pemerataan beban dilakukan dengan jalan, memindahkan beban ( $I_{\text{fasa}}$  terbesar dari  $I_{\text{rata-rata}}$ ) dari fasa yang berat (pada JTR) ke fasa yang lebih ringan. Kemudian diperlukan koefisien arus per fasa dari tiap trafo. Persamaan yang digunakan untuk estimasi jatuh tegangan adalah persamaan 2-17, sebagai berikut :

$$\Delta V = (a + b + c) \times I \times l \times (R \cos \theta + X \sin \theta),$$

dimana

$$\cos \theta = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$P = I^2 \cdot R$$

$$Q = I^2 \cdot X$$

$$I_R = a \cdot I$$

$$I_S = b \cdot I$$

$$I_T = c \cdot I$$

- a. Perhitungan jatuh tegangan pada trafo KWSD dengan jenis kabel saluran AAAC 70 mm<sup>2</sup>, dengan data sebagai berikut :

$$R = 0,4608 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$X = 0,3572 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$l = 1,61 \text{ km}$$

$$I_R = 148 \text{ A}$$

$$I_S = 178 \text{ A}$$

$$I_T = 203 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{148+178+203}{3} = 176,33 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IR} = 148 - 176,33 = -28,33 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IS} = 178 - 176,33 = 1,67 \text{ A}$$

$$\Delta I_{IT} = 203 - 176,33 = 26,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{dipindah}} = \frac{26,67}{3} = 8,89 \text{ A}$$

I(A)	I <sub>dipindah</sub> (A)	I <sub>perbaikan</sub> (A)
I <sub>R</sub> = 148 A	I <sub>R</sub> = 8,89	I <sub>R</sub> = 156,89
I <sub>S</sub> = 178 A	I <sub>S</sub> = 8,89	I <sub>S</sub> = 186,89
I <sub>T</sub> = 203 A	I <sub>T</sub> = -17,78	I <sub>T</sub> = 185,22

(-) : artinya dipindahkan

$$|\Delta I_{IT}| = |185,22 - 176,33| = 8,89 \text{ A}$$

$$|\Delta I_{IS}| = |186,89 - 176,33| = 10,56 \text{ A}$$

$$|\Delta I_{IR}| = |156,89 - 176,33| = 19,44 \text{ A}$$

Ketidakseimbangan (%) = x 100% = %

$$I_{\text{Takseimbang}} = \frac{19,44}{176,33} = 0,1102 \text{ A}$$

$$a = \frac{156,89}{176,33} = 0,89 \text{ A}$$

$$b = \frac{186,89}{176,33} = 1,06 \text{ A}$$

$$c = \frac{168,92}{173,92} = 1,05 \text{ A}$$

$$P = 0,4608 (0,1102)^2 = 0,0056 \text{ Watt}$$

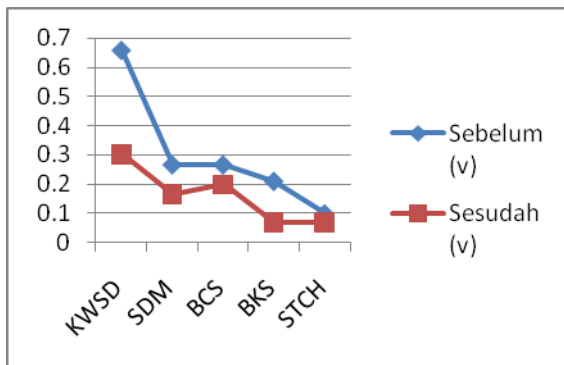
$$Q = 0,3572 (0,1102)^2 = 0,0043 \text{ Var}$$

$$\theta = \cos^{-1} \frac{0,0056}{\sqrt{0,0056^2 + 0,0043^2}} = 0,6548$$

$$\Delta V = 3 \times 0,1102 \times 1,61 \times (0,4608 \times \cos 0,6548 + 0,3572 \times \sin 0,6548) = 0,3041 \text{ Volt}$$

Jadi besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada trafo KWSD menurun yaitu menjadi 0,3041 Volt.

Dengan perhitungan yang sama didapatkan nilai pada trafo SDM menurun yaitu menjadi 0,1659 Volt, trafo BCTmenurun yaitu menjadi 0,2 Volt, trafo BKSmenurun yaitu menjadi 0,0698 Volt dan trafo STCHmenurun yaitu menjadi 0,0688 Volt



Gambar diatas menunjukkan grafik perbandingan jatuh tegangan Sebelum Dan Setelah Perbaikan.Terdapat beberapa sample trafo dari Penyulang Kota diantaranya adalah trafo KWSD, trafo SDM, trafo BCT, trafo BKS dan trafo STCH. Sebelum dilakukan perbaikan yaitu pemerataan beban, kondisi jatuh tegangan pada trafo KWSD sebesar 0,65953 V, trafo SDM sebesar 0,26641 V,trafo BCTsebesar 0,26630 V,trafo BKS sebesar 0,20978 V, dan trafo STCHsebesar 0,09846 V. Setelah dilakukan perbaikan yaitu pemerataan bebanpada tiap fasanya, maka nilai ketidakseimbangan beban pada trafo-trafo tersebut mengalami penurunan. Kondisi ketidakseimbangan beban pada pada trafo KWSD menurun menjadi 0,3041 V, trafo SDM sebesar 0,1659 V, trafo BCTsebesar 0,2 V,trafo BKSsebesar 0,0698 V, dan trafo STCH sebesar 0,0688 V.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemerataan beban pada sistem distribusi penyulang Kota mampu menurunkan % ketidakseimbangan beban, seperti halnya pada trafo KWSD % ketidakseimbangan menurun menjadi 11,02%
2. Pemerataan beban pada sistem distribusi penyulang Kota mampu menurunkan beban lebih, seperti halnya pada trafo SDM beban lebih pada fasa R menurun menjadi 111,12 A.
3. Pemerataan beban pada sistem distribusi penyulang Kota mampu menurunkan jatuh tegangan, seperti halnya pada trafo BCT jatuh tegangan menurun menjadi 0,2 V.

4. Arus perpindahan perphasa dapat diketahui dengan pemerataan beban, seperti halnya pada trafo KWSD arus perpindahan perphasa adalah 8,89 A.

#### Daftar Pustaka

- [1] Kadir, Abdul, 2006, *Distibusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Edisi kedua, UI-Press, Jakarta.
- [2] Marsudi, Djiteng, 2006, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Edisi kedua, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [3] Burke, J.J.*Power Distribution Engineering*. Singapore : Marcel Dekker, Inc, 1994.p.78.
- [4] Saudi, Nur, 2007, *Analisa Aliran Daya Beban Tidak Seimbang Tenaga Listrik Dengan Gauss Seuss Seidel Dan Newton Raphson*, UNDIP, Semarang.
- [5] Setiadji, Julius, S, dkk.,2007,*Pengaruh Ketidakseimbanganbeban Terhadap Arus Netral Dan Losses Terhadap Trafo Distribusi*, Jurnal Teknik Elektro, Volume 6, No.1.september2007,68-73
- [6] Widhianto, Dedi 2008, *Simulasi Dan Analisis Ketidaskeseimbangan Beban Trafo Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah Pada PLN UJ Darmo Permai APJ Surabaya Selatan*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- [7] Sakti, Prasetya U, *Evaluasi Pemerataan Beban Untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah Di Gardu E311P Dan Gardu PM 213*, PT. PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya Dan Tangerang, 2008.
- [8] Yoakim Simamor, Panusur S.M.L. Tobing, 2014,*Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah*,Jurnal SINGUDA ENSIKOM Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik USU, Vol 7 No. 3/Juni 2014

# Simulasi Studi Aliran Daya di Sistem Jaringan Sumbagut 150 KV dengan Menggunakan Powerworld

Surya Tarmizi Kasim<sup>1</sup>, Yulianta Siregar<sup>2</sup>, Adly Lidya<sup>3</sup>

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

e-mail: <sup>1</sup>[surya\\_et@yahoo.com](mailto:surya_et@yahoo.com)

<sup>2</sup>[julianta\\_srg@yahoo.co.id](mailto:julianta_srg@yahoo.co.id)

<sup>3</sup>[adly\\_l@yahoo.com](mailto:adly_l@yahoo.com)

## ABSTRAK

Studi aliran daya sangat penting dalam suatu sistem kelistrikan. Dengan studi aliran daya, dapat diketahui profil tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif serta rugi-rugi jaringan pada masing-masing busbar yang bermanfaat dalam operasional sistem kelistrikan. PowerWorld Simulator adalah *software* / perangkat lunak untuk simulasi ketenagalistrikan khususnya untuk analisis sistem tenaga listrik. Pada Tugas Akhir ini, studi aliran daya dilakukan pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara (SUMBAGUT) 150 KV. Permasalahan aliran daya yang ditinjau adalah pada saat kondisi normal dengan menggunakan metode *Newton-Rhapson*. Hasil studi aliran daya yang diperoleh untuk sistem dalam kondisi normal adalah tegangan bus paling rendah di Bus Rantau Prapat, daya aktif dan daya reaktif terbesar yang disalurkan yaitu pada transmisi Sei Rotan – Tebing Tinggi, serta rugi-rugi jaringan tertinggi yaitu pada transmisi Sei Rotan – Tebing Tinggi.

**Kata Kunci:** aliran daya, daya aktif, daya reaktif

### 1. Pendahuluan

Listrik adalah bagian penting dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan manusia yang sesuai dengan perkembangan zaman berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik dalam mengerjakan aktivitas manusia tersebut. Kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsumsi masyarakat terhadap tenaga listrik untuk keperluan hidup sehari-hari, baik dalam bidang perindustrian maupun rumah tangga.

Untuk menunjang bertambahnya konsumsi energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik. Caranya dengan melakukan analisis terhadap suatu sistem energi listrik. Pada sistem tenaga listrik perlu dilakukan beberapa analisis seperti analisis aliran daya, analisis stabilitas dan analisis hubung singkat. Analisa aliran daya dilakukan pada sistem tenaga dalam keadaan beroperasi normal untuk keperluan menentukan besar tegangan dan daya pada tiap busbar. Hasil perhitungan ini digunakan untuk perencanaan operasional dalam sistem tenaga listrik.<sup>[1]</sup>

Pada tugas akhir ini, penulis akan membahas mengenai studi aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara

(SUMBAGUT) 150 KV menggunakan software PowerWorld Simulator versi 17. Dengan studi aliran daya ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan operasional sistem tenaga listrik serta pengembangan sistemnya untuk lebih meningkatkan kualitas energi listrik, khususnya di wilayah Sumatera Bagian Utara.

### 2. Persamaan Aliran Daya

Komponen Utama dari suatu sistem tenaga pada umumnya terdiri dari generator, saluran transmisi, transformator dan beban. Komponen-komponen utama tersebut diganti dengan rangkaian pengganti agar dapat dilakukan analisis pada sistem tenaga listrik. Rangkaian pengganti yang digunakan adalah rangkaian pengganti satu fasa dengan nilai fasa netralnya. Dengan asumsi sistem 3 fasa yang dianalisis dalam keadaan seimbang dan kondisi normal. Untuk mempresentasikan suatu sistem tenaga listrik digunakan diagram yang disebut diagram segaris (*single line diagram*). Diagram segaris berisi informasi yang dibutuhkan mengenai sistem tenaga tersebut.<sup>[3]</sup>

Pada studi aliran daya, perhitungan aliran dan tegangan sistem dilakukan pada

terminal tertentu atau bus tertentu. Bus-bus pada studi aliran daya dibagi dalam 3 macam, yaitu:

- Bus Beban

Pada bus ini daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ) diketahui sehingga sering juga disebut bus  $PQ$ . Daya aktif dan reaktif yang dicatu ke dalam sistem tenaga bernilai positif, sementara daya aktif dan reaktif yang di konsumsi bernilai negatif. Besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah  $V$  (tegangan) dan  $\delta$  (sudut beban).<sup>[3]</sup>

- Bus Generator

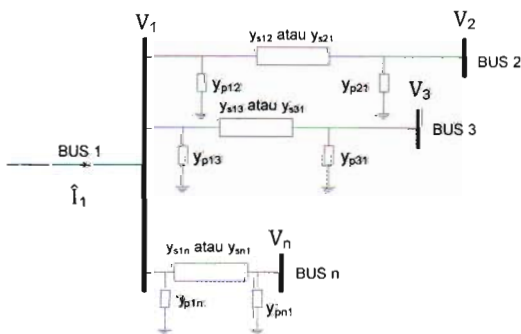
*Bus Generator* dapat disebut dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus ini dibuat selalu konstan atau bus dimana terdapat generator. Pembangkitan daya aktif dapat dikendalikan dengan mengatur penggerak mula (*prime mover*) dan nilai tegangan dikendalikan dengan mengatur eksitasi generator. Sehingga bus ini sering juga disebut dengan PV bus. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah  $Q$  (daya reaktif) dan  $\delta$  (sudut beban).<sup>[3]</sup>

- Slack Bus

*Slack Bus* sering juga disebut dengan *swing bus* atau bus berayun. Slack bus berfungsi untuk menyuplai daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . Besaran yang diketahui dari slack bus adalah tegangan  $V$  dan sudut beban  $\delta$ . Suatu sistem tenaga biasanya dirancang memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi yaitu besaran  $\delta = 0^0$ . Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ .<sup>[3]</sup>

Rumus umum aliran daya adalah

$$S_i = \widehat{V}_i \widehat{I}_i^* = (P_i + jQ_i) \Rightarrow (P_i - jQ_i) = \widehat{V}_i^* \widehat{I}_i \dots\dots(2.1)$$



Gambar 1 model transmisi  $\pi$  ntuk sistem bus

$$\begin{aligned} \widehat{I}_1 &= \widehat{V}_1 y_{p12} + \widehat{V}_1 y_{p13} + \dots + \widehat{V}_1 y_{p1n} + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_2) y_{s12} + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_3) y_{s13} + \dots + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_n) y_{s1n} \\ \widehat{I}_1 &= (y_{p12} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + \dots + y_{s1n}) \widehat{V}_1 - y_{s12} \widehat{V}_2 - y_{s13} \widehat{V}_3 - \dots - y_{s1n} \widehat{V}_n \\ \widehat{I}_1 &= Y_{11} \widehat{V}_1 + Y_{12} \widehat{V}_2 + Y_{13} \widehat{V}_3 + \dots + Y_{1n} \widehat{V}_n \\ \widehat{I}_1 &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} \widehat{V}_j \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

Dengan:

$$Y_{11} = (y_{p12} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + \dots + y_{s1n})$$

$$Y_{12} = -y_{s12}; Y_{13} = -y_{s13}; Y_{1n} = -y_{s1n}$$

Substitusi Persamaan 2.2 ke Persamaan 2.1 menjadi:

$$P_i - jQ_i = \widehat{V}_i^* I_i = \widehat{V}_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j; \text{ untuk nilai } i=1,2,\dots,n \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan (2.3) dapat menghasilkan matriks rel admitansi seperti pada Persamaan (2.4), yaitu :

$$\begin{bmatrix} \widehat{I}_1 \\ \widehat{I}_2 \\ \vdots \\ \widehat{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widehat{V}_1 \\ \widehat{V}_2 \\ \vdots \\ \widehat{V}_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan (2.2) bila ditulis dalam bentuk polar adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya kompleks pada bus I adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

$$V_i^* = \text{conjugate dari } V_i = |V_i| \angle -\delta_i$$

Substitusi dari Persamaan (2.5) ke Persamaan (2.6) sehingga menjadi:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$$e^{j(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)} \cong \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) + j \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Dari Persamaan (2.7) dan (2.8) dapat diketahui persamaan daya aktif dan persamaan daya reaktif yaitu sebagai berikut:

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q_i^{(k)} = -\sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots \dots \dots (2.10)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) merupakan langkah awal perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Penyelesaian aliran daya menggunakan proses iterasi (k+1). Untuk iterasi pertama (1), nilai k = 0, merupakan nilai perkiraan awal (*initial estimate*) yang ditetapkan sebelum dimulai perhitungan aliran daya.

Hasil perhitungan aliran daya menggunakan Persamaan (2.9) dan (2.10) akan diperoleh nilai  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$ . Hasil nilai ini digunakan untuk menghitung nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  menggunakan persamaan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i,spec} - P_{i,cal} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i,spec} - Q_{i,cal} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dari Persamaan di atas bentuk matriks Jacobian setelah disederhanakan menjadi seperti persamaan di bawah ini.

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.13)$$

Besaran elemen matriks Jacobian Persamaan (2.13) adalah:

- J1
 
$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.14)$$
- J2
 
$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = |Y_{ij}| |V_i^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.15)$$
- J3
 
$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = -|V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.16)$$
- J4
 
$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = -|Y_{ij}| |V_i^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad j \neq i \dots \dots \dots (2.17)$$

Setelah nilai matrik Jacobian dimasukan ke dalam Persamaan (2.13), maka nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$

dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  dapat dicari dengan menginverskan matrix Jacobian seperti pada Persamaan (2.18).

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (2.18)$$

Setelah nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  diketahui nilainya, maka nilai  $\delta_i^{(k+1)}$  dan  $|V|_i^{(k+1)}$  dapat dicari dengan memasukkan nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  ke dalam persamaan:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$|V|_i^{(k+1)} = |V|_i^{(k)} + \Delta |V|_i^{(k)} \dots \dots \dots (2.20)$$

Nilai  $\Delta \delta_i^{(k+1)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k+1)}$  hasil perhitungan dari Persamaan (2.19) dan (2.20) merupakan perhitungan pada iterasi pertama. Nilai ini digunakan kembali untuk perhitungan iterasi ke-2 dengan cara memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (2.11) dan (2.12) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Perhitungan dilanjutkan sampai iterasi ke-n dan akan selesai jika nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  konvergen.

### 3. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan April 2014 sampai bulan Juni 2014 dan untuk lokasi yang ditinjau adalah sistem kelistrikan 150 KV Sumatera Bagian Utara.

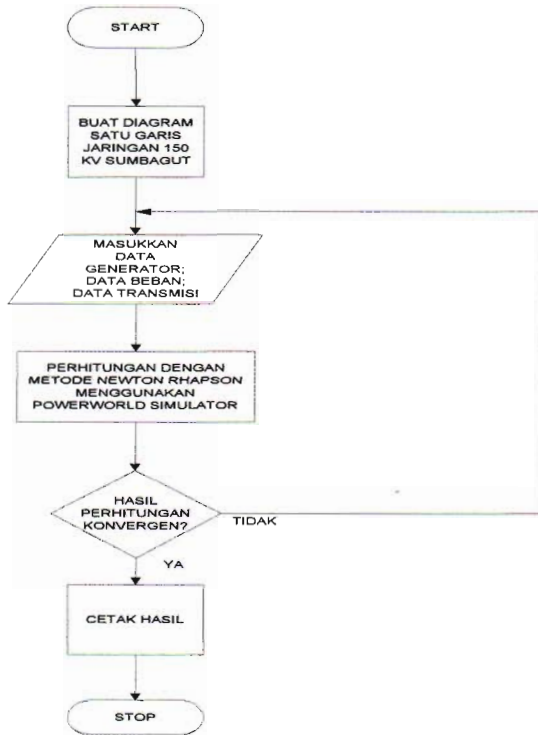
Langkah-langkah penelitian yang ditempuh dalam penelitian ini meliputi :

1. Tahap Persiapan
 

Tujuan dari tahap persiapan penelitian adalah untuk mempersiapkan dan mengumpulkan informasi berupa data-data yang diperlukan untuk melakukan analisis. Data-data tersebut meliputi daya aktif dan reaktif masing-masing busbar, impedansi saluran transmisi yang menghubungkan masing-masing busbar dan diagram satu garis sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara.
2. Tahap Perhitungan Data
 

Perhitungan data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* PowerWorld Simulator versi 17 untuk mendapatkan aliran dayanya.

Analisis dilakukan dengan melihat dan membandingkan nilai tegangan, daya aktif, daya reaktif serta rugi-rugi jaringan pada masing-masing busbar. Berikut akan ditampilkan *flowchart* untuk perhitungan aliran dayanya dengan menggunakan *software* PowerWorld Simulator versi 17

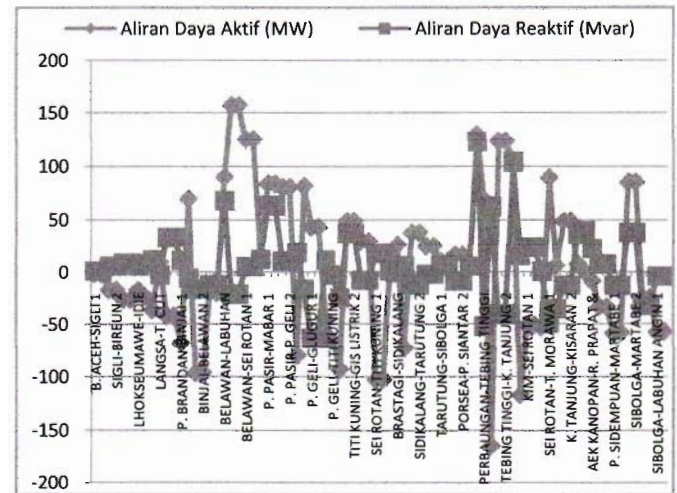


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

#### 4. Hasil dan Analisis

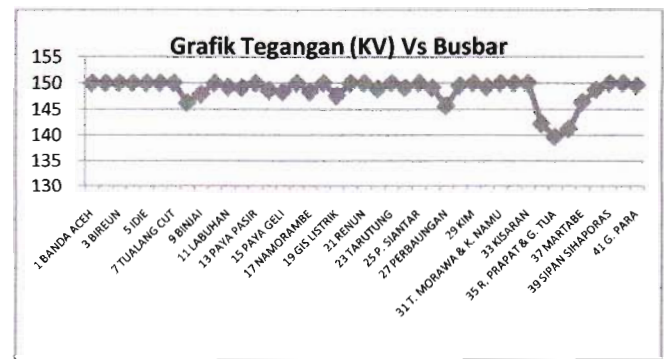
Untuk Hasil Perhitungan Aliran Daya Pada jaringan 150 KV Sumbagut menggunakan *software* PowerWorld Simulator versi 17 adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan dengan menggunakan metode Newton-Rhapson selesai pada iterasi ke 1
2. Untuk Swing bus dipilih Bus Titi Kuning sebagai referensi.
3. Daya nyata dan daya reaktif terbesar yang mengalir sebesar -165.1 MW dan 62.1 MVar dari Sei Rotan – Tebing Tinggi. Hal ini dikarenakan beban pada bus Tebing Tinggi dan bus Kuala Tanjung yang terlalu besar sehingga membutuhkan supply daya dari Sei Rotan – Tebing Tinggi untuk memenuhi kekurangan daya tersebut. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 3 Grafik aliran daya

4. Tegangan terendah terjadi pada bus Rantau Prapat yaitu sebesar 139.670 KV. Hal ini disebabkan karena bus terletak jauh dari sumber pembangkit. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.

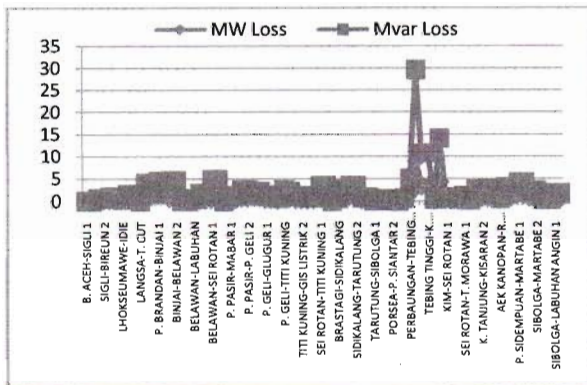


Gambar 4 Grafik Tegangan (KV) Vs Busbar

5. Untuk Pembebanan penghantar SUTT 150 KV yang lebih dari 55% terdapat pada:
  1. SUTT 150 KV Belawan – Labuhan dengan daya yang mengalir sebesar 112.1 MVA dari 167.5 MVA (67%).
  2. SUTT 150 KV Tebing Tinggi – Kuala Tanjung 1 dengan daya yang mengalir sebesar 130.2. MVA dari 192.3 MVA (68%)
  3. SUTT 150 KV Tebing Tinggi – Kuala Tanjung 2 dengan daya yang mengalir sebesar 130.2 MVA dari 192.3 MVA (68%)
  4. SUTT 150 KV Sei Rotan – Perbaungan dengan daya yang mengalir sebesar 121.3 MVA dari 167.5 MVA (73%)



5. SUTT 150 KV Sibolga – Martabe 1 dengan daya yang mengalir sebesar 92.7 MVA dari 167.5 MVA (56%)
6. SUTT 150 KV Sibolga – Martabe 2 dengan daya yang mengalir sebesar 92.7 MVA dari 167.5 MVA (56%)
6. Nilai rugi-rugi jaringan tertinggi terjadi pada jaringan Sei Rotan – Tebing Tinggi dengan nilai 8.82 MW dan 29.62 MVar. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 5 Grafik rugi-rugi jaringan

7. Total daya pembangkit adalah sebesar 2509.3 MW dan 2030.7 Mvar
8. Total daya beban adalah sebesar 2456 MW dan 1834 Mvar
9. Total rugi-rugi jaringan adalah sebesar 53.3 MW dan 196.7 Mvar

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan terendah terjadi pada bus Rantau Prapat yaitu sebesar 139.670 KV. Hal ini disebabkan karena bus terletak jauh dari sumber pembangkit.
2. Daya nyata dan daya reaktif terbesar yang mengalir sebesar -165.1 MW dan 62.1 MVar dari Sei Rotan – Tebing Tinggi. Hal ini dikarenakan beban pada bus Tebing Tinggi dan bus Kuala Tanjung yang terlalu besar sehingga membutuhkan supply daya dari sei rotan – tebing tinggi untuk memenuhi kekurangan daya tersebut.
3. Untuk Pembebanan penghantar SUTT 150 KV yang paling besar terdapat pada SUTT

- 150 KV Sei Rotan – Perbaungan sebesar 121.3 MVA dari 167.5 MVA (73%).
4. Nilai Rugi-rugi Jaringan tertinggi terjadi pada jaringan Sei Rotan – Tebing Tinggi dengan nilai 8.82 MW dan 29.62 MVar.
5. Total daya pembangkit adalah sebesar 2509.3 MW dan 2030.7 Mvar.
6. Total daya beban adalah sebesar 2456 MW dan 1834 Mvar.
7. Total rugi-rugi jaringan adalah sebesar 53.3 MW dan 196.7 Mvar.

## 6. Referensi

1. Sjani, Masykur. “Analisis Sistem Tenaga”, Diktat Kuliah Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
2. L. Tobing, Bonggas, “Peralatan Tegangan Tinggi”, Erlangga, Jakarta, 2012
3. Siregar, Yulinta. “Analisis Sistem Tenaga Listrik 1”, Diktat Kuliah Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
4. Saadat, H., 1999. “Power Sistem Analysis” , McGraw-Hill Companies, Inc; USA.
5. Beaty, H. Wayne, 2000. “ Handbook of Electric Power Calculations “, Edisi ketiga. McGraw-Hill.
6. E. El-Hawary, Mohamed, 1983., ”Electrical Power Sistem Design and Analysis”, Reston Publishing Company, Inc. A Prentice-Hall Company, Virginia.
7. Stevenson, W.D.,”Analisis Sistem Tenaga Listrik,” Edisi Keempat. 1983. Penerbit Erlangga, Jakarta
8. Tanoto, Yusak, “ Visualisasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan PowerWorld Simulator”, Edidi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta: 2013
9. Destiarini, Titin, 2009. “Studi & Analisa Aliran Daya Pada Sistem Sumatera Utara – Nangroe Aceh Darussalam Dengan Menggunakan Program Power Sistem Simulation Engineering (Pss/E) Versi 31.0.0”. Medan: Universitas Sumatera Utara.
10. Jusmedi, Feri. 2007. “Studi Aliran Daya Sistem 115 KV PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA.” Medan: Universitas Sumatera Utara.

## STUDI ALIRAN DAYA PADA SISTEM KELISTRIKAN SUMBAGUT 150 KV DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE* POWERWORLD SIMULATOR VERSI 17

Yulianta Siregar\*<sup>1)</sup>, Surya Tarmizi Kasim\*<sup>2)</sup>, Adly Lidya\*<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara  
 Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155  
 e-mail: [julanta\\_srg@yahoo.co.id](mailto:julanta_srg@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

Studi aliran daya sangat penting dalam suatu sistem kelistrikan. Dengan studi aliran daya, dapat diketahui profil tegangan, aliran daya aktif dan daya reaktif serta rugi-rugi jaringan pada masing-masing busbar yang bermanfaat dalam operasional sistem kelistrikan. PowerWorld Simulator adalah *software* / perangkat lunak untuk simulasi ketenagalistrikan khususnya untuk analisis sistem tenaga listrik. Pada Tugas Akhir ini, studi aliran daya dilakukan pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara (SUMBAGUT) 150 KV. Permasalahan aliran daya yang ditinjau adalah pada saat kondisi normal dengan menggunakan metode *Newton-Rhapson*. Hasil studi aliran daya yang diperoleh untuk sistem dalam kondisi normal adalah tegangan bus paling rendah di Bus Rantau Prapat, daya aktif dan daya reaktif terbesar yang disalurkan yaitu pada transmisi Sei Rotan – Tebing Tinggi, serta rugi-rugi jaringan tertinggi yaitu pada transmisi Sei Rotan – Tebing Tinggi.

**Kata Kunci:** aliran daya, daya aktif, daya reaktif

### 1. Pendahuluan

Listrik adalah bagian penting dalam kehidupan manusia. Peningkatan kebutuhan manusia yang sesuai dengan perkembangan zaman berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik dalam mengerjakan aktivitas manusia tersebut. Kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat seiring dengan bertambahnya konsumsi masyarakat terhadap tenaga listrik untuk keperluan hidup sehari-hari, baik dalam bidang perindustrian maupun rumah tangga.

Untuk menunjang bertambahnya konsumsi energi listrik harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik. Caranya dengan melakukan analisis terhadap suatu sistem energi listrik. Pada sistem tenaga listrik perlu dilakukan beberapa analisis seperti analisis aliran daya, analisis stabilitas dan analisis hubung singkat. Analisa aliran daya dilakukan pada sistem tenaga dalam keadaan beroperasi normal untuk keperluan menentukan besar tegangan dan daya pada tiap busbar. Hasil perhitungan ini digunakan untuk perencanaan operasional dalam sistem tenaga listrik.<sup>[1]</sup>

Pada tugas akhir ini, penulis akan membahas mengenai studi aliran daya pada sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara (SUMBAGUT) 150 KV menggunakan *software* PowerWorld Simulator versi 17. Dengan studi aliran daya ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan operasional sistem tenaga listrik serta pengembangan sistemnya untuk

lebih meningkatkan kualitas energi listrik, khususnya di wilayah Sumatera Bagian Utara.

### 2. Persamaan Aliran Daya

Komponen Utama dari suatu sistem tenaga pada umumnya terdiri dari generator, saluran transmisi, transformator dan beban. Komponen-komponen utama tersebut diganti dengan rangkaian pengganti agar dapat dilakukan analisis pada sistem tenaga listrik. Rangkaian pengganti yang digunakan adalah rangkaian pengganti satu fasa dengan nilai fasa netralnya. Dengan asumsi sistem 3 fasa yang dianalisis dalam keadaan seimbang dan kondisi normal. Untuk mempresentasikan suatu sistem tenaga listrik digunakan diagram yang disebut diagram segaris (*single line diagram*). Diagram segaris berisi informasi yang dibutuhkan mengenai sistem tenaga tersebut.<sup>[3]</sup>

Pada studi aliran daya, perhitungan aliran dan tegangan sistem dilakukan pada terminal tertentu atau bus tertentu. Bus-bus pada studi aliran daya dibagi dalam 3 macam, yaitu:

- Bus Beban

Pada bus ini daya aktif ( $P$ ) dan daya reaktif ( $Q$ ) diketahui sehingga sering juga disebut bus  $PQ$ . Daya aktif dan reaktif yang dicatu ke dalam sistem tenaga bernilai positif, sementara daya aktif dan reaktif yang di konsumsi bernilai negatif. Besaran yang dapat

dihitung pada bus ini adalah  $V$  (tegangan) dan  $\delta$  (sudut beban).<sup>[3]</sup>

- Bus Generator

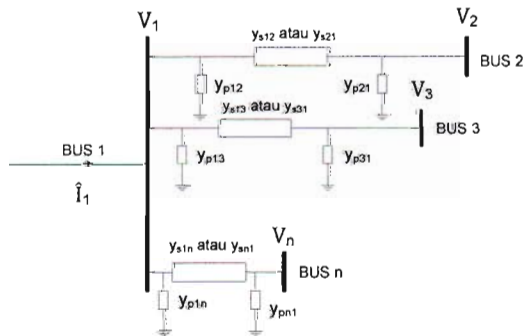
Bus Generator dapat disebut dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus ini dibuat selalu konstan atau bus dimana terdapat generator. Pembangkitan daya aktif dapat dikendalikan dengan mengatur penggerak mula (*prime mover*) dan nilai tegangan dikendalikan dengan mengatur eksitasi generator. Sehingga bus ini sering juga disebut dengan PV bus. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah  $Q$  (daya reaktif) dan  $\delta$  (sudut beban).<sup>[3]</sup>

- Slack Bus

Slack Bus sering juga disebut dengan *swing bus* atau bus berayun. Slack bus berfungsi untuk menyuplai daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ . Besaran yang diketahui dari slack bus adalah tegangan  $V$  dan sudut beban  $\delta$ . Suatu sistem tenaga biasanya dirancang memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi yaitu besaran  $\delta = 0^\circ$ . Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif  $P$  dan daya reaktif  $Q$ .<sup>[3]</sup>

Rumus umum aliran daya adalah

$$S_i = \widehat{V}_i \widehat{I}_i^* = (P_i + jQ_i) \Rightarrow (P_i - jQ_i) = \widehat{V}_i^* \widehat{I}_i \dots\dots(2.1)$$



Gambar 1 model transmisi  $\pi$  ntuk sistem bus

$$\begin{aligned} \widehat{I}_1 &= \widehat{V}_1 y_{p12} + \widehat{V}_2 y_{p13} + \dots + \widehat{V}_n y_{pn1} + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_2) y_{s12} + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_3) y_{s13} + \dots + (\widehat{V}_1 - \widehat{V}_n) y_{s1n} \\ \widehat{I}_1 &= (y_{p12} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + \dots + y_{s1n}) \widehat{V}_1 - y_{s12} \widehat{V}_2 - y_{s13} \widehat{V}_3 - \dots - y_{s1n} \widehat{V}_n \\ \widehat{I}_1 &= Y_{11} \widehat{V}_1 + Y_{12} \widehat{V}_2 + Y_{13} \widehat{V}_3 + \dots + Y_{1n} \widehat{V}_n \\ \widehat{I}_1 &= \sum_{j=1}^n Y_{ij} \widehat{V}_j \dots\dots\dots(2.2) \end{aligned}$$

Dengan:

$$Y_{11} = (y_{p12} + \dots + y_{p1n} + y_{s12} + \dots + y_{s1n})$$

$$Y_{12} = -y_{s12}; Y_{13} = -y_{s13}; Y_{1n} = -y_{s1n}$$

Substitusi Persamaan 2.2 ke Persamaan 2.1 menjadi:

$$P_i - jQ_i = \widehat{V}_i^* I_i = \widehat{V}_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij} \widehat{V}_j; \text{ untuk nilai } i=1,2,\dots,n \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan (2.3) dapat menghasilkan matriks rel admitansi seperti pada Persamaan (2.4), yaitu :

$$\begin{bmatrix} \widehat{I}_1 \\ \widehat{I}_2 \\ \vdots \\ \widehat{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \widehat{V}_1 \\ \widehat{V}_2 \\ \vdots \\ \widehat{V}_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.4)$$

Persamaan (2.2) bila ditulis dalam bentuk polar adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya kompleks pada bus I adalah:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \dots\dots\dots(2.6)$$

Dengan:

$$V_i^* = \text{conjugate dari } V_i = |V_i| \angle -\delta_i$$

Substitusi dari Persamaan (2.5) ke Persamaan (2.6) sehingga menjadi:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \dots\dots\dots(2.7)$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

$$e^{j(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)} \cong \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) + j \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)$$

Dari Persamaan (2.7) dan (2.8) dapat diketahui persamaan daya aktif dan persamaan daya reaktif yaitu sebagai berikut:

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \dots\dots\dots(2.10)$$

Persamaan (2.9) dan (2.10) merupakan langkah awal perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Penyelesaian aliran daya menggunakan proses

iterasi (k+1). Untuk iterasi pertama (1), nilai k = 0, merupakan nilai perkiraan awal (*initial estimate*) yang ditetapkan sebelum dimulai perhitungan aliran daya.

Hasil perhitungan aliran daya menggunakan Persamaan (2.9) dan (2.10) akan diperoleh nilai  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$ . Hasil nilai ini digunakan untuk menghitung nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  menggunakan persamaan:

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i,spec} - P_{i,cal}^{(k)} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i,spec} - Q_{i,cal}^{(k)} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dari Persamaan di atas bentuk matriks Jacobian setelah disederhanakan menjadi seperti persamaan di bawah ini.

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.13)$$

Besaran elemen matriks Jacobian Persamaan (2.13) adalah:

- J1  

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = - \left| V_i^{(k)} \right| \left| Y_{ij} \right| \left| V_j^{(k)} \right| \sin \left( \theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.14)$$

- J2  

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = \left| Y_{ij} \right| \left| V_i^{(k)} \right| \cos \left( \theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.15)$$

- J3  

$$\frac{\partial Q_i^{(k)}}{\partial \delta_j} = - \left| V_i^{(k)} \right| \left| Y_{ij} \right| \left| V_j^{(k)} \right| \cos \left( \theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.16)$$

- J4  

$$\frac{\partial P_i^{(k)}}{\partial |V_j|} = - \left| Y_{ij} \right| \left| V_i^{(k)} \right| \sin \left( \theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)} \right) \quad j \neq i \dots\dots\dots(2.17)$$

Setelah nilai matrik Jacobian dimasukan ke dalam Persamaan (2.13), maka nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  dapat dicari dengan menginverskan matrix Jacobian seperti pada Persamaan (2.18).

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 J_2 \\ J_3 J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.18)$$

Setelah nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  diketahui nilainya, maka nilai  $\delta_i^{(k+1)}$  dan  $|V|_i^{(k+1)}$  dapat dicari dengan memasukkan nilai  $\Delta \delta_i^{(k)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k)}$  ke dalam persamaan:

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \dots\dots\dots(2.19)$$

$$|V|_i^{(k+1)} = |V|_i^{(k)} + \Delta |V|_i^{(k)} \dots\dots\dots(2.20)$$

Nilai  $\Delta \delta_i^{(k+1)}$  dan  $\Delta |V|_i^{(k+1)}$  hasil perhitungan dari Persamaan (2.19) dan (2.20) merupakan perhitungan pada iterasi pertama. Nilai ini digunakan kembali untuk perhitungan iterasi ke-2 dengan cara memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (2.11) dan (2.12) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Perhitungan dilanjutkan sampai iterasi ke-n dan akan selesai jika nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  konvergen.

### 3. Metode Penelitian

Penelitian dilaksanakan mulai dari bulan April 2014 sampai bulan Juni 2014 dan untuk lokasi yang ditinjau adalah sistem kelistrikan 150 KV Sumatera Bagian Utara.

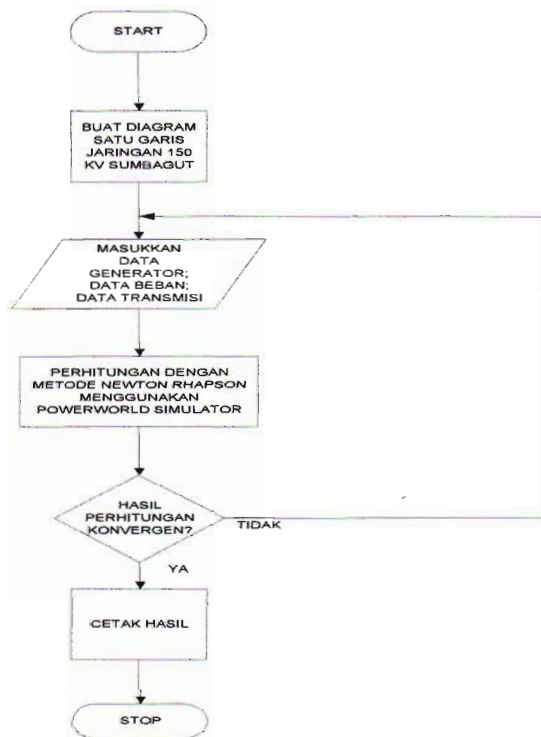
Penelitian ini memerlukan alat dan bahan yaitu sebagai berikut :

1. Laptop
2. Sistem Operasi Windows 8.1
3. *Software* PowerWorld Simulator versi 17
4. Data Sistem Pembangkit dan Penyalur Sumatera Bagian Utara

Langkah-langkah penelitian yang ditempuh dalam penelitian ini meliputi :

1. Tahap Persiapan  
 Tujuan dari tahap persiapan penelitian adalah untuk mempersiapkan dan mengumpulkan informasi berupa data-data yang diperlukan untuk melakukan analisis. Data-data tersebut meliputi daya aktif dan reaktif masing-masing busbar, impedansi saluran transmisi yang menghubungkan masing-masing busbar dan diagram satu garis sistem kelistrikan Sumatera Bagian Utara.
2. Tahap Perhitungan Data  
 Perhitungan data dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* PowerWorld Simulator versi 17 untuk mendapatkan aliran dayanya.

Analisis dilakukan dengan melihat dan membandingkan nilai tegangan, daya aktif, daya reaktif serta rugi-rugi jaringan pada masing-masing busbar. Berikut akan ditampilkan *flowchart* untuk perhitungan aliran dayanya dengan menggunakan *software* PowerWorld Simulator versi 17

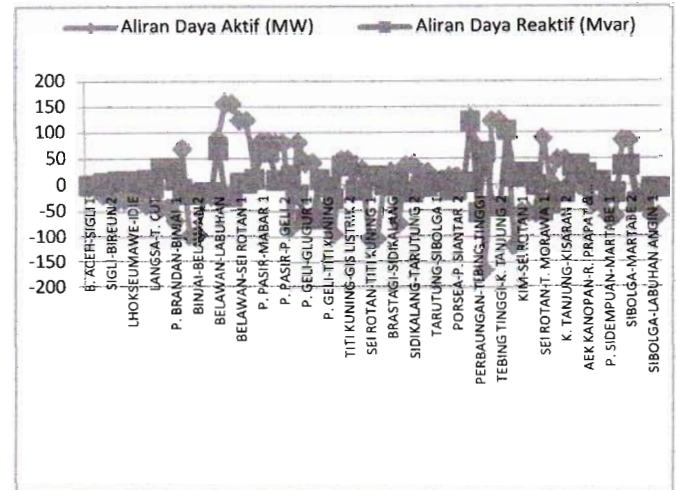


Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

#### 4. Hasil dan Analisis

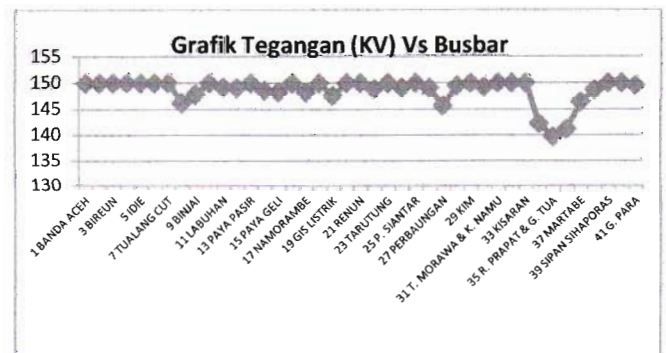
Untuk Hasil Perhitungan Aliran Daya Pada jaringan 150 KV Sumbagut menggunakan *software* PowerWorld Simulator versi 17 adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan dengan menggunakan metode Newton-Rhapson selesai pada iterasi ke 1
2. Untuk Swing bus dipilih Bus Titi Kuning sebagai referensi.
3. Daya nyata dan daya reaktif terbesar yang mengalir sebesar -165.1 MW dan 62.1 MVar dari Sei Rotan – Tebing Tinggi. Hal ini dikarenakan beban pada bus Tebing Tinggi dan bus Kuala Tanjung yang terlalu besar sehingga membutuhkan supply daya dari Sei Rotan – Tebing Tinggi untuk memenuhi kekurangan daya tersebut. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 3 Grafik aliran daya

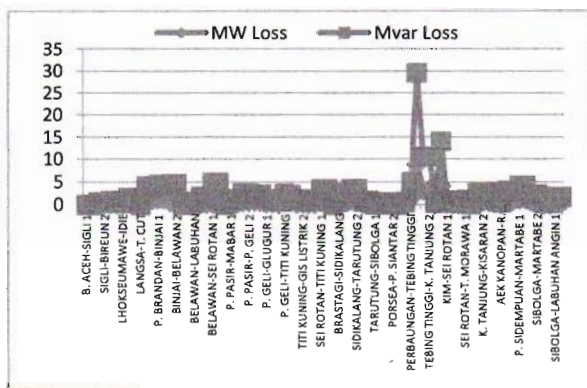
4. Tegangan terendah terjadi pada bus Rantau Prapat yaitu sebesar 139.670 KV. Hal ini disebabkan karena bus terletak jauh dari sumber pembangkit. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 4 Grafik Tegangan (KV) Vs Busbar

5. Untuk Pembebanan penghantar SUTT 150 KV yang lebih dari 55% terdapat pada:
  1. SUTT 150 KV Belawan – Labuhan dengan daya yang mengalir sebesar 112.1 MVA dari 167.5 MVA (67%).
  2. SUTT 150 KV Tebing Tinggi – Kuala Tanjung 1 dengan daya yang mengalir sebesar 130.2. MVA dari 192.3 MVA (68%)
  3. SUTT 150 KV Tebing Tinggi – Kuala Tanjung 2 dengan daya yang mengalir sebesar 130.2 MVA dari 192.3 MVA (68%)
  4. SUTT 150 KV Sei Rotan – Perbaungan dengan daya yang mengalir sebesar 121.3 MVA dari 167.5 MVA (73%)

5. SUTT 150 KV Sibolga – Martabe 1 dengan daya yang mengalir sebesar 92.7 MVA dari 167.5 MVA (56%)
6. SUTT 150 KV Sibolga – Martabe 2 dengan daya yang mengalir sebesar 92.7 MVA dari 167.5 MVA (56%)
6. Nilai rugi-rugi jaringan tertinggi terjadi pada jaringan Sei Rotan – Tebing Tinggi dengan nilai 8.82 MW dan 29.62 MVar. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar di bawah ini.



Gambar 5 Grafik rugi-rugi jaringan

7. Total daya pembangkit adalah sebesar 2509.3 MW dan 2030.7 Mvar
8. Total daya beban adalah sebesar 2456 MW dan 1834 Mvar
9. Total rugi-rugi jaringan adalah sebesar 53.3 MW dan 196.7 Mvar

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Tegangan terendah terjadi pada bus Rantau Prapat yaitu sebesar 139.670 KV. Hal ini disebabkan karena bus terletak jauh dari sumber pembangkit.
2. Daya nyata dan daya reaktif terbesar yang mengalir sebesar 165.1 MW dan 62.1 MVar dari Sei Rotan – Tebing Tinggi. Hal ini dikarenakan beban pada bus Tebing Tinggi dan bus Kuala Tanjung yang terlalu besar sehingga membutuhkan supply daya dari sei rotan – tebing tinggi untuk memenuhi kekurangan daya tersebut.
3. Untuk Pembebanan penghantar SUTT 150 KV yang paling besar terdapat pada SUTT

- 150 KV Sei Rotan – Perbaungan sebesar 121.3 MVA dari 167.5 MVA (73%).
4. Nilai Rugi-rugi Jaringan tertinggi terjadi pada jaringan Sei Rotan – Tebing Tinggi dengan nilai 8.82 MW dan 29.62 MVar.
5. Total daya pembangkit adalah sebesar 2509.3 MW dan 2030.7 Mvar.
6. Total daya beban adalah sebesar 2456 MW dan 1834 Mvar.
7. Total rugi-rugi jaringan adalah sebesar 53.3 MW dan 196.7 Mvar.

## 6. Referensi

1. Sjani, Masykur. "Analisis Sistem Tenaga", Diktat Kuliah Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
2. L. Tobing, Bonggas, "Peralatan Tegangan Tinggi", Erlangga, Jakarta, 2012
3. Siregar, Yulinta. "Analisis Sistem Tenaga Listrik 1", Diktat Kuliah Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
4. Saadat, H., 1999. "Power Sistem Analysis" , McGraw-Hill Companies, Inc: USA.
5. Beaty, H. Wayne, 2000. " Handbook of Electric Power Calculations ", Edisi ketiga. McGraw-Hill.
6. E. El-Hawary, Mohamed, 1983., "Electrical Power Sistem Design and Analysis", Reston Publishing Company, Inc. A Prentice-Hall Company, Virginia.
7. Stevenson, W.D., "Analisis Sistem Tenaga Listrik," Edisi Keempat. 1983. Penerbit Erlangga, Jakarta
8. Tanoto, Yusak, " Visualisasi Sistem Tenaga Listrik Menggunakan PowerWorld Simulator", Edidi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta: 2013
9. Destiarini, Titin, 2009. "Studi & Analisa Aliran Daya Pada Sistem Sumatera Utara – Nangroe Aceh Darussalam Dengan Menggunakan Program Power Sistem Simulation Engineering (Pss/E) Versi 31.0.0". Medan: Universitas Sumatera Utara.
10. Jusmedi, Feri. 2007. "Studi Aliran Daya Sistem 115 KV PT. CHEVRON PACIFIC INDONESIA." Medan: Universitas Sumatera Utara.

# PENERAPAN *POWER LINE COMMUNICATION* PADA SISTEM *MONITORING, CONTROLLING AND DATA COMMUNICATION* MELALUI SISTEM KELISTRIKAN 220 VOLT AC

Faris<sup>1</sup>, Suhendar<sup>2</sup>, Anggoro Suryo Pramudyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>faris.22elektro@gmail.com, <sup>2</sup>suhendar@ft-untirta.ac.id, <sup>3</sup>pramudyo@untirta.ac.id

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jalan Jenderal Sudirman Km.3 Cilegon 42435

**Abstrak** - Umumnya sistem komunikasi data digunakan untuk mengendalikan dan memonitoring suatu beban maupun *sharing file* antarkomputer menggunakan media kabel *twisted pair*, kabel *coaxial*, *optical fiber* dan *wireless*, yang memerlukan banyak instalasi baru dan biaya yang relatif mahal, sehingga kurang efektif dan efisien. Pada skripsi ini dibuat alat *Power Line Communication (PLC)* untuk sistem komunikasi melalui kabel listrik yang biasa digunakan sebagai *supply device* pada peralatan listrik, yang secara bersamaan juga bisa dimanfaatkan sebagai *controlling, monitoring* peralatan listrik dan *sharing file* antarkomputer. Alat ini terdiri dari *master* dan *slave* yang masing-masing dilengkapi dengan modem PLC LM1893N dan mikrokontroler, bisa sebagai *transmitter* dan *receiver* yang terdapat dua *mode, mode* pertama yaitu sebagai *controlling* dan *monitoring* peralatan listrik yang kedua sebagai *sharing file* antarkomputer, komunikasi pada PLC ini secara bergantian *half duplex* dan menggunakan metode Modulasi *Frequency Shift Key(FSK)* dengan frekuensi *carrier* sebesar 125 KHz. PLC ini mampu mengirim data yang digunakan sebagai *controlling, monitoring* dan *sharing file* sampai dengan *baudrate* sebesar 1200 baud/s atau *bit rate* 1200 bps dengan *error* 0% dan jarak maksimal 200 meter.

**Kata kunci** : *Power Line Communication, controlling, monitoring, sharing file.*

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini teknologi komputer dan dunia informasi semakin besar perannya dalam segala bidang, mulai bidang perindustrian, pendidikan, pariwisata, dan sebagainya. Dengan meningkatnya berbagai macam kebutuhan alat industri atau rumah tangga di bidang kelistrikan khususnya elektronika kendali dan telekomunikasi yang mengakibatkan pengkawatan atau instalasi tersebut semakin banyak dan rumit sehingga kurang efisien, sehingga memerlukan alternatif lain untuk memudahkan sistem komunikasi dan mudah ditemukan atau diganti apabila ada kerusakan dengan waktu yang cepat. Umumnya pengkawatan atau instalasi antara *supply* untuk *device* sistem komunikasi dan *controlling, monitoring* atau *sharing data* adalah terpisah. Teknologi komunikasi saat ini mengalami kemajuan yang cukup pesat, salah satunya mengenai media komunikasi yang digunakan secara tradisional, teknologi komunikasi menggunakan kabel, misalnya: sepasang kabel yang dibelitkan, koaksial, dan *fiber optics* sebagai media untuk pengiriman dan penerimaan informasi. Namun saat ini teknologi komunikasi tidak hanya secara konvensional melainkan juga telah berkembang menjadi komunikasi melalui jala-jala listrik atau *Power Line Communication*

(PLC)<sup>[1]</sup>. Dengan memanfaatkan jaringan listrik yang terhubung ke komputer dan *device* yang berhubungan dengan sistem komunikasi yang hanya bertujuan sebagai *supply* sebuah *device* bisa sekaligus difungsikan sebagai media komunikasi, misalnya: *controlling, monitoring* dan *sharing file* antarkomputer. Penggunaan sistem komunikasi melalui jala-jala lebih fleksibel pengirim dan penerima dapat dipindahkan dengan mudah sewaktu-waktu diperlukan selama masih dalam satu jalur fasa dalam distribusi listrik.

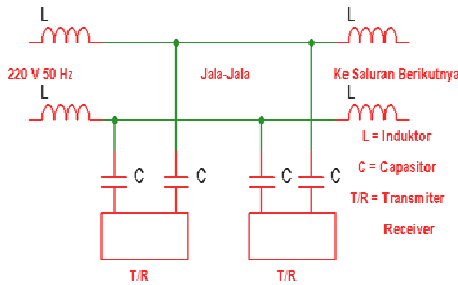
## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 *Power Line Communication*

*Power Line Communication (PLC)* adalah salah satu sistem komunikasi yang sinyal pembawanya diinjeksikan (*superposed*) pada kabel atau kawat yang digunakan sebagai transmisi tenaga listrik, selain transmisi tenaga listrik dapat difungsikan sebagai media transmisi data. PLC juga dikenal sebagai *Power Line Digital Subscriber Line (PDSL)*, *Power Line Carrier (PLC)*, *mains communication*, *Power Line Telecom (PLT)*, *Power Line Networking (PLN)* atau *Broadband Over Power Line (BPL)*. Teknologi ini dapat diterapkan pada sistem distribusi daya *low voltage* 220V – 380 V. Frekuensi dan *amplitude* antara sinyal pembawa pada PLC dengan transmisi tenaga listrik berbeda sehingga tidak terjadi *interferensi* yang menyebabkan kerusakan pada sinyal data. Dalam hal ini dikenal dua cara hubungan komunikasi dengan jaringan tenaga listrik, yaitu<sup>[2]</sup> :

1. PLC terhubung induktif, yaitu dengan menempatkan penghantar jaringan listrik untuk jarak tertentu.
2. PLC terhubung kapasitif yaitu menghubungkan peralatan komunikasi dengan jaringan tenaga listrik melalui kapasitor.

Kapasitor akan menahan arus DC dan arus AC 50 Hz karena mempunyai frekuensi lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi pembawa pada PLC, dengan kata lain berfungsi sebagai *high pass* yaitu meloloskan sinyal berfrekuensi tinggi dan menahan frekuensi yang lebih rendah. Pada Gambar 1 terdapat Diagram Komunikasi PLC

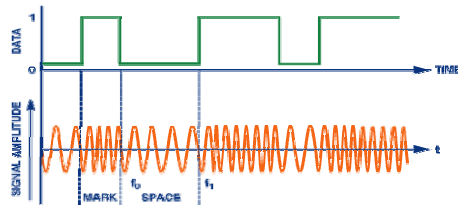


Gambar 1 Diagram Komunikasi PLC

PLC bekerja dengan teknik modulasi, sinyal dikirim melalui *transmitter*(pengirim) dengan teknik modulasi diinjeksikan ke jala-jala melalui *coupling transformers* dan kapasitor.

### 2.2 Modulasi Frequency Shift Key (FSK)

*Frequency Shift Key (FSK)* adalah modulasi digital yang perubahan frekuensi pada *carrier* sesuai dengan sinyal berupa bit-bit yang diinputkan. Dalam sistem *Frequency Shift Key (FSK)*, menyatakan data biner digital 0 dan 1 kedalam dua buah *level* frekuensi sinyal analog yang berbeda<sup>[3]</sup>.



Gambar 2 Modulasi Frequency Shift Key (FSK)

Secara matematis, pembangkitan modulasi FSK dinyatakan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$f_c(t) = \begin{cases} A \cos \omega_1 t & \text{Logika 1} \\ A \cos \omega_2 t & \text{Logika 0} \end{cases}$$

Keterangan :

- $f_c(t)$  = Gelombang pembawa termodulasi
- $A$  = Amplitudo gelombang pembawa (V)
- $\omega_1$  = Frekuensi sudut logika 1 (rad)
- $\omega_2$  = Frekuensi sudut logika 0 (rad)

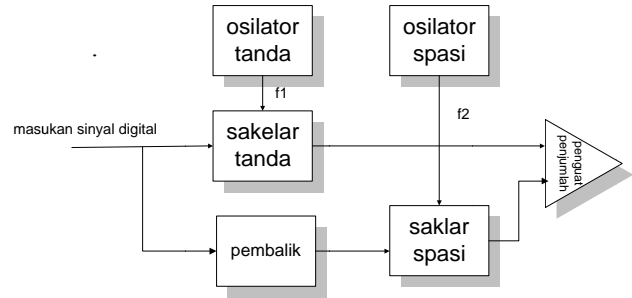
Dari persamaan (1) terdapat dua nilai frekuensi yang berbeda. Frekuensi–frekuensi gelombang pada modulasi FSK dapat disamakan mempunyai  $f_1=f_c+ f$  dan  $f_2= f_c+ f$ , sehingga kedua frekuensi tersebut berbeda sebesar 2 fHz atau dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut<sup>[4]</sup>:

$$(2)$$

Keterangan :

- $f_c(t)$  = Gelombang pembawa termodulasi
- $A$  = Amplitudo gelombang pembawa (V)
- $c$  = Frekuensi gelombang pembawa
- $\omega$  = Simpangan Frekuensi Sudut (rad)

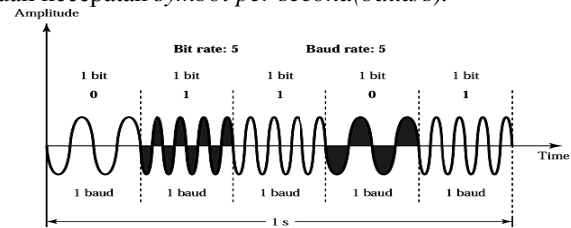
Diagram blok pembangkitan modulasi FSK ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Diagram Blok Modulasi FSK

Pembangkitan FSK terdiri dari dua osilator lokal yang mempunyai frekuensi berbeda, yaitu  $f_1$  dan  $f_2$ . Apabila masukan diberi logika *high*, maka osilator dengan frekuensi  $f_1$  akan on, dan osilator  $f_2$  menjadi off. Sebaliknya apabila masukan diberi logika *low*, dengan rangkaian pembalik (*inverter*), osilator dengan frekuensi  $f_2$  akan on, dan osilator dengan frekuensi  $f_1$  menjadi off. Jadi pada keadaan ini modulasi FSK menghasilkan frekuensi  $f_2$ .

Selama sinyal biner berubah dari logika *low* ke *high*, atau sebaliknya, maka frekuensi *output* pada modulasi berpindah–pindah diantara dua frekuensi yaitu *mark* (frekuensi logika *high*) dan *space* (frekuensi logika *low*), dalam modulasi FSK frekuensi *output* berubah setiap kondisi *input* biner berubah sehingga kecepatan perubahan *input* (*bit rate*) mempunyai satuan *bit per second*(bps) sama dengan kecepatan perubahan *output* (*baud rate*) mempunyai satuan kecepatan *symbol per second*(baud/s).



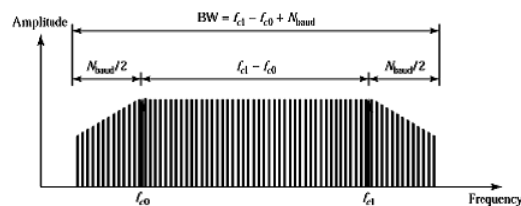
Gambar 4 Kecepatan Modulasi FSK

Sedangkan *bandwidth* minimal yang diperlukan untuk transmisi sinyal pada modulasi FSK ditunjukkan pada Gambar 5, yaitu besarnya dapat ditentukan dengan persamaan<sup>[3]</sup>:

$$(3)$$

Keterangan:

- $Bw$  = *bandwidth* dalam Hz
- $f_{c1}$  = frekuensi (Hz) sinyal analog untuk menyatakan data biner *high*
- $f_{c0}$  = frekuensi (Hz) sinyal analog untuk menyatakan data biner *low*
- $N_{baud}$  = nilai *baudrate* modulasi FSK (baud/s)

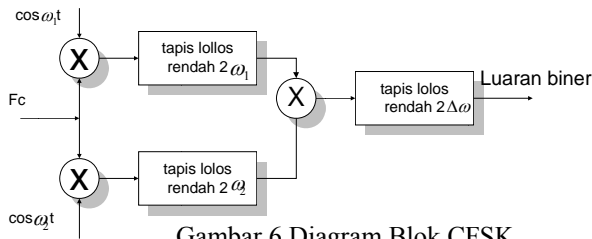


Gambar 5 Bandwidth Minimal Transmisi FSK



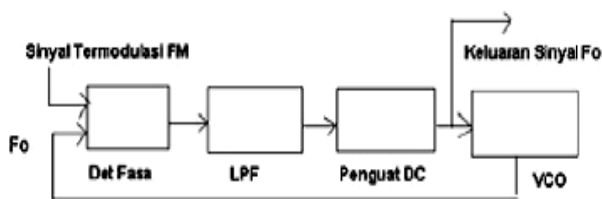
## 2.2 Demodulasi Coherent Frequency Shift Keying (CFSK)

Demodulasi adalah proses merubah gelombang termodulasi untuk memperoleh sinyal informasi. Proses demodulasi sinyal CFSK dengan cara mengalikan sinyal yang datang dengan frekuensi acuan yang dibangkitkan secara lokal pada penerima. Besarnya frekuensi lokal yang dibangkitkan adalah sama dengan frekuensi yang digunakan untuk menunjukkan logika *high* dan logika *low*. Pada demodulasi CFSK diperlukan dua frekuensi dan fasa sinkronisasi untuk kedua osilator pada tiap pensinyalan frekuensi, maka digunakan rangkaian *Phase Locked Loop (PLL)*, dimana rangkaian PLL ini akan menghasilkan frekuensi yang sama dengan frekuensi masukan. Adapun Diagram Blok CFSK ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram Blok CFSK

Pada metode CFSK diperlukan dua osilator untuk membangkitkan dua sinyal frekuensi yaitu  $\cos(\omega_c - \Delta\omega)t$  untuk  $\phi_1(t)$  dan  $\cos(\omega_c + \Delta\omega)t$  untuk  $\phi_2(t)$ . Sinyal hasil kali kemudian dilewatkan tapis (*filter*) lolos rendah atau *low pass filter* dan dijumlahkan untuk mendapatkan kembali sinyal yang dikirimkan. *Phase Lock Loop (PLL)* merupakan rangkaian umpan balik yang terdiri dari: detektor fasa, *low pass filter*, penguat DC, dan *Voltage Controller Oscillator (VCO)*. Sinyal masukan *Phase Lock Loop* pada Gambar 7 diterima oleh detektor fasa, sedangkan sinyal VCO yang diumpankan kembali (*feedback*) merupakan sinyal masukan pembanding. Jika kedua sinyal masukan berselisih fasanya, maka *detector* mengeluarkan tegangan searah (DC). Besarnya tegangan ini merupakan tegangan *error* berbanding lurus dengan besar selisih fasa. Tegangan *error* ini dikuatkan, lalu diumpankan ke VCO, guna mengendalikan VCO, agar terkunci pada frekuensi masukan.



Gambar 7 Diagram blok PLL

Alat pendeteksi fasa adalah pencampur yang penggunaannya dioptimalisasikan pada frekuensi-frekuensi masukan yang sama, karena jumlah tegangan DCnya tergantung pada sudut fasa  $\phi$  di antara sinyal sinyal masukannya. Apabila sudut fasanya berubah, maka tegangan dcnya juga berubah, bila sudut fasa  $\phi = 0$ , tegangan DC-nya berharga maksimum, apabila sudut fasanya naik dari  $0^\circ$  sampai  $180^\circ$ , maka tegangan DCnya turun sampai mencapai harga minimum dan apabila  $\phi = 90^\circ$ , keluaran DCnya adalah nilai rata-rata dari keluaran maksimum dan

minimumnya, jadi keluaran DCnya turun apabila sudut fasanya naik.

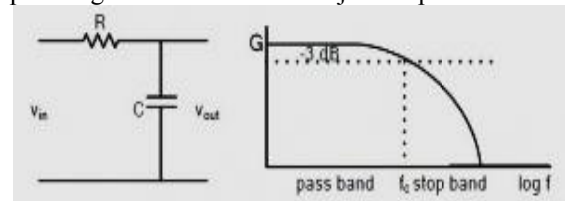
PLL dapat mengunci keluaran pada frekuensi masukannya bila frekuensi tersebut terletak di dalam daerah cakupan, yaitu pita frekuensi yang berpusat pada frekuensi osilasi bebas, frekuensi tertinggi dan frekuensi terendah dapat dikunci oleh *Phase Lock Loop (PLL)*. Daerah cakupan selalu  $\leq$  daerah penguncian dan berhubungan dengan frekuensi potong dari *low pass filter*. Bila frekuensi potongnya lebih rendah, daerah cakupan juga lebih kecil. Sinyal masukan yang diterima mungkin lemah dan bahkan hampir hilang (*buried*) dalam derau. Meskipun demikian sebuah PLL dapat mengunci sinyal dan menimbulkan sinyal keluaran yang kuat dengan frekuensi sama. Jadi secara umum penguncian sinyal keluaran yaitu sinyal dengan frekuensi yang sama dengan frekuensi sinyal masukan, meskipun sinyal masukannya bergeser geser pada daerah frekuensi yang besar, frekuensi keluarannya tetap terkunci<sup>[2]</sup>.

## 2.3 Filtering (Penyaringan)

Dalam telekomunikasi penyaringan (*Filtering*) sinyal-sinyal diperlukan untuk memisahkan sinyal yang dikehendaki dari sinyal-sinyal lain yang dipancarkan, dan juga untuk memperkecil pengaruh kebisingan dan interferensi pada sinyal yang dikehendaki<sup>[5]</sup>. Pada dasarnya *filter* dibagi menjadi empat<sup>[6]</sup>, yaitu *Low Pass Filter (LPF)* dan *High Pass Filter (HPF)*, *Band Pass Filter (BPF)*, dan *Band Stop Filter (BSF)*.

### a. Low Pass Filter (LPF)

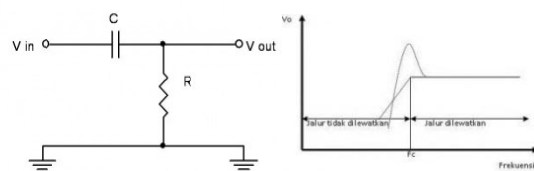
*Low Pass Filter* adalah *filter* yang hanya melewatkan sinyal yang mempunyai frekuensi lebih rendah dari frekuensi *cut-off (fc)* dan melemahkan sinyal yang mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi *cut-off (fc)*. Adapun rangkaian dasar LPF ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Low Pass Filter (LPF)

### b. High Pass Filter (HPF)

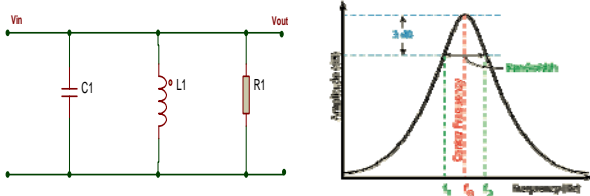
*High Pass Filter* adalah *filter* yang hanya melewatkan sinyal yang mempunyai frekuensi lebih tinggi dari frekuensi *cut-off (fc)* dan melemahkan sinyal yang mempunyai frekuensi lebih rendah dari frekuensi *cut-off (fc)*. Adapun rangkaian dasar HPF ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9 High Pass Filter (HPF)

### c. Band Pass Filter

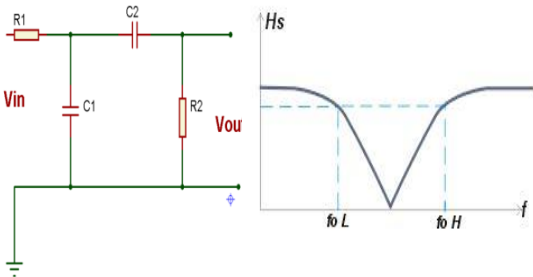
*Band Pass Filter* adalah *filter* yang hanya melewatkan sinyal yang berada di dalam jalur atau *band* tersebut. Adapun rangkaian dasar BPF ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Band Pass Filter (BPF)

d. Band Stop Filter (BSF)

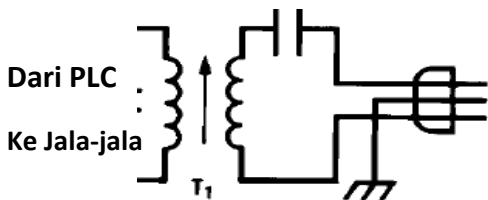
Band Stop Filter adalah kebalikan dari band pass filter, yaitu menahan frekuensi-frekuensi yang berada di dalam jalur. Adapun rangkaian dasar BSF ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11 Band Stop Filter (BSF)

2.4 Coupling PLC

Coupling digunakan agar sinyal data yang termodulasi bisa diinjeksikan ke jala-jala listrik sekaligus mengamankan rangkaian PLC dari arus pada jala-jala listrik. Coupling menggunakan transformator yang frekuensi kerjanya sesuai dengan frekuensi pada PLC dan kapasitor. Adapun rangkaian coupling PLC ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12 Coupling pada PLC

Kapasitor akan mengamankan rangkaian PLC dari arus listrik AC karena sifatnya menahan frekuensi rendah dan melewatkan frekuensi tinggi sehingga dituliskan dengan persamaan :

$$Xc = \frac{1}{2\pi f c} \tag{4}$$

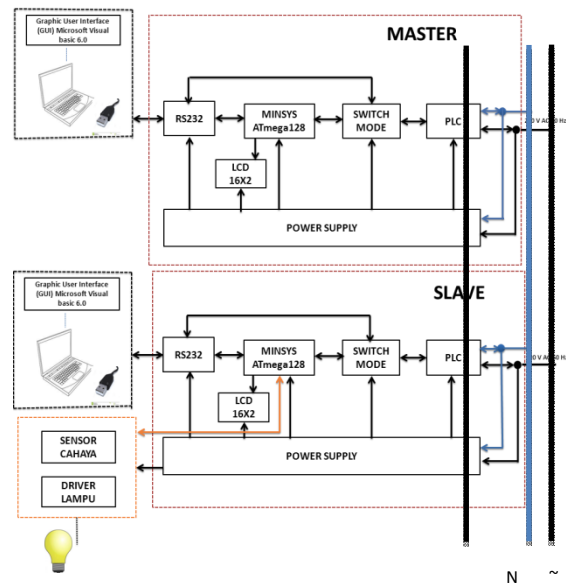
Pemakaian kapasitor sesuai dengan frekuensi jala-jala akan menyebabkan nilai reaktansi menjadi sangat besar, sehingga arus yang mengalir sangat kecil, dan jika sinyal carrier yang melewati kapasitor maka nilai reaktansi menjadi sangat kecil karena mempunyai frekuensi sangat besar sehingga dapat melewatkan sinyal kerangkaian.

II. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Perancangan Perangkat Keras

Pada sub-bab ini akan dijelaskan tentang beberapa komponen atau rangkaian yang dibutuhkan untuk membangun sebuah sistem yang dirancang untuk

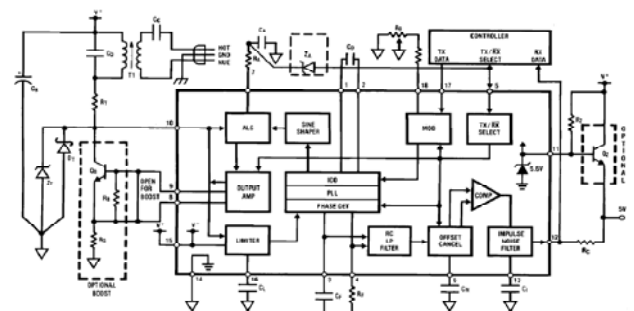
membangun sebuah sistem secara keseluruhan master dan slave, meliputi modem PLC, Switch Mode, Minimum System ATmega128, RS232, LCD 16x2, Power Supply, Sensor Cahaya dan Driver Lampu. Adapun Diagram Blok sistem PLC ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13 Diagram Blok Sistem Controlling, Monitoring dan sharing data pada Power Line Communication (PLC) Master, dan Slave

3.1.1 Rangkaian Modem PLC

Untuk membangun suatu sistem keseluruhan sebagai controlling, monitoring dan sharing data antarkomputer melalui jala-jala, harus terlebih dahulu dibuat sebagai pembawa data agar bisa diinjeksikan ke jala-jala 220 Volt AC 50 Hz. Modem PLC ini menggunakan komponen yang sudah terintegrasi dalam bentuk Integrated Circuit (IC) LM1893N yang sudah dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung. Adapun Rangkaian LM1893N Pada Gambar 14.



Gambar 14 Rangkaian Integrated Circuit (IC) LM1893N beserta komponen pendukungnya (National Semiconductor Databook)

Nilai masing-masing komponen pendukung ditentukan berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan menggunakan prosedur sesuai dengan yang ditunjukkan oleh datasheet<sup>[7]</sup>. Komponen pendukung terdiri dari dua bagian yaitu bagian pemancar dan bagian penerima. Bagian pemancar terdiri dari C<sub>0</sub>, R<sub>0</sub>, C<sub>A</sub>, R<sub>A</sub>, T<sub>1</sub>, C<sub>Q</sub>, C<sub>c</sub>, Z<sub>T</sub>, dan R<sub>T</sub>. Sedangkan bagian penerima terdiri dari C<sub>L</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>F</sub>, R<sub>F</sub>, dan Z<sub>A</sub>. Untuk frekuensi pembawa (F<sub>0</sub>) sebesar 125 kHz, tegangan catu daya 18 Volt dan jala-jala listrik 220 V 50 Hz,

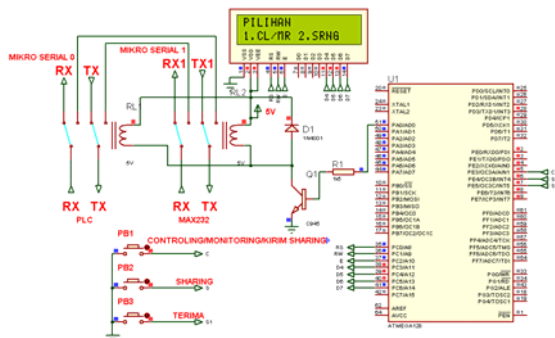
diperoleh nilai masing-masing komponen pendukung seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Nilai komponen-komponen pendukung berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan

Nama Komponen	Nilai
C <sub>0</sub>	560pF
R <sub>0</sub>	5.6K+2KΩ
C <sub>A</sub>	100nF
R <sub>A</sub>	10KΩ
T <sub>1</sub>	IF SUMAIDA 711A
C <sub>Q</sub>	33nF
C <sub>c</sub>	0,22μF
Z <sub>T</sub>	47V
R <sub>T</sub>	4.7Ω
C <sub>L</sub>	47nF
C <sub>i</sub>	47nF
C <sub>F</sub>	47nF
R <sub>F</sub>	3.3KΩ
Z <sub>A</sub>	5.1V

**3.1.2 Rangkaian Switch Mode (SM)**

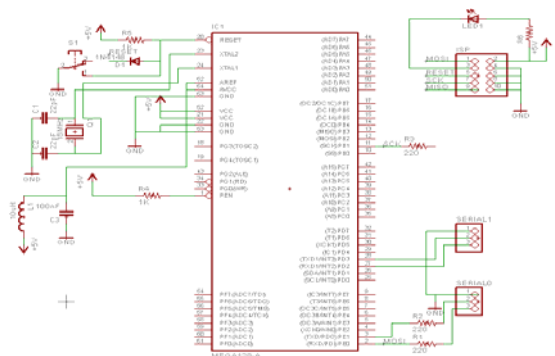
Switch Mode berfungsi sebagai pilihan antara *controlling*, *monitoring* dan *sharing file*. Adapun Rangkaian *switch mode* pada Gambar 15.



Gambar 15 Rangkaian Switch Mode

**3.1.3 Rangkaian Minimum System ATmega128**

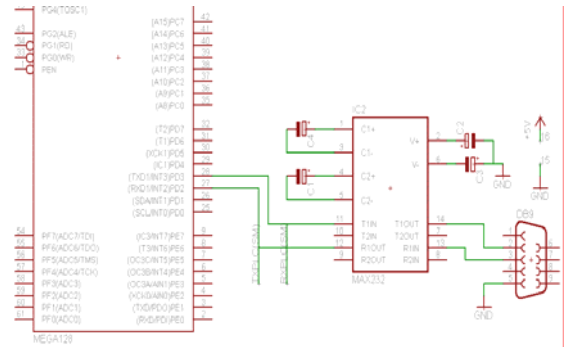
Mikrokontroler dalam penelitian ini berfungsi sebagai pengolah sinyal data serial yang dikirim dari komputer kemudian dikirimkan ke PLC untuk dimodulasi dengan sinyal *carrier* dikoplingkan dengan jala-jala agar sinyal data yang termodulasi bisa diinjeksikan. Selain itu mikrokontroler juga berfungsi sebagai pengolah data yang dikirimkan oleh PLC, untuk dikirimkan ke komputer dan ditampilkan dalam bentuk *Graphic User Interface (GUI)*. Adapun *Minimum System ATmega128* ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16 Rangkaian Minimum System ATmega128

**3.1.4 Rangkaian Interface RS232**

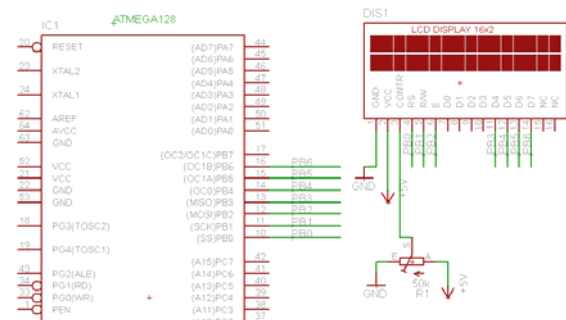
Rangkaian antarmuka RS232 menggunakan IC MAX232 yang memerlukan beberapa komponen tambahan berupa empat buah kapasitor yang nilainya telah ditentukan *datasheet*, yaitu 1μF untuk seluruh kapasitor<sup>[8]</sup>. Rangkaian RS232 ditunjukkan dalam Gambar 17.



Gambar 17 Rangkaian Interface RS232

**3.1.5 Rangkaian Liquid Crystal Display (LCD)**

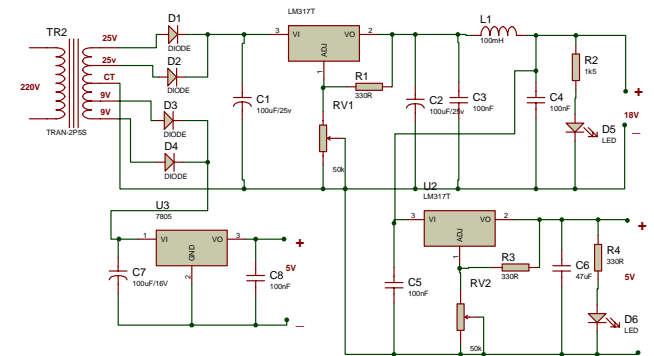
Pada penelitian ini LCD berfungsi menampilkan proses eksekusi *controlling*, *monitoring* dan *sharing file* pada mikrokontroler. Adapun rangkaian LCD 16x2 pada Gambar 18



Gambar 18 Rangkaian LCD 16x2

**3.1.6 Rangkaian Power Supply**

*Power Supply* atau catu daya merupakan suatu rangkaian elektronika yang menghasilkan arus dan tegangan. Catu daya sangat penting untuk rangkaian elektronika yang membutuhkan arus dan tegangan yang diinginkan. Adapun rangkaian *power supply* pada Gambar 19

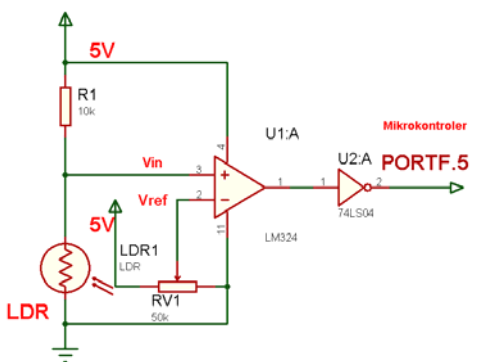


Gambar 19 Rangkaian Power Supply

**3.1.7 Rangkaian Sensor Cahaya**

Sensor berfungsi sebagai masukan logika ke mikrokontroler, pada penelitian ini menggunakan sensor

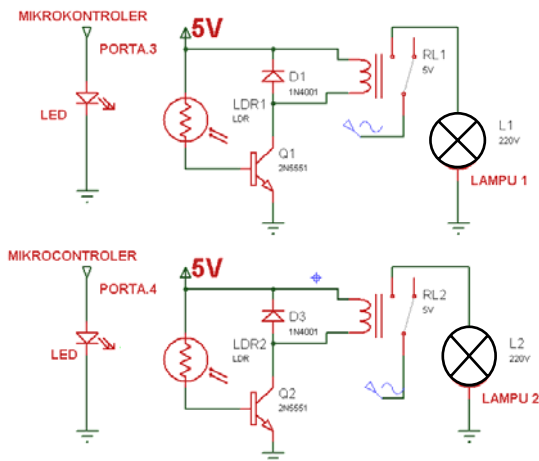
cahaya untuk mengetahui keadaan beban sebuah lampu dengan memanfaatkan LDR sebagai penerima cahaya. Adapun rangkaian sensor cahaya ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20 Rangkaian sensor cahaya

### 3.1.8 Driver Lampu

Driver lampu berfungsi sebagai pengontrol untuk menyalakan lampu yang dikontrol oleh mikrokontroler. Pada penelitian ini driver lampu untuk menyalakan dua buah lampu, yaitu lampu 1 dan lampu 2. Rangkaian driver lampu pada Gambar 21.



Gambar 21 Rangkaian Driver Lampu

### 3.2 Perancangan Perangkat Lunak

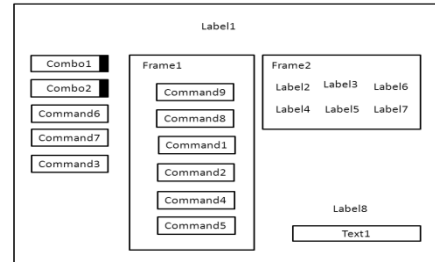
Pada perancangan perangkat lunak pemrograman interface dalam sistem keseluruhan PLC sebagai *controlling*, *monitoring* dan *sharing file* menggunakan software Microsoft Visual Basic 6.0 sedangkan untuk *compiler* mikrokontroler menggunakan bantuan software CodeVision 2.05.3 standard, menggunakan bahasa C dalam pemrogramannya.

#### 1. Perancangan pada form1



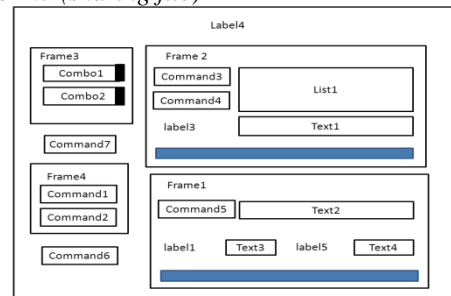
Gambar 22 Sketsa Halaman Utama

#### a. Form2 (controlling dan monitoring)

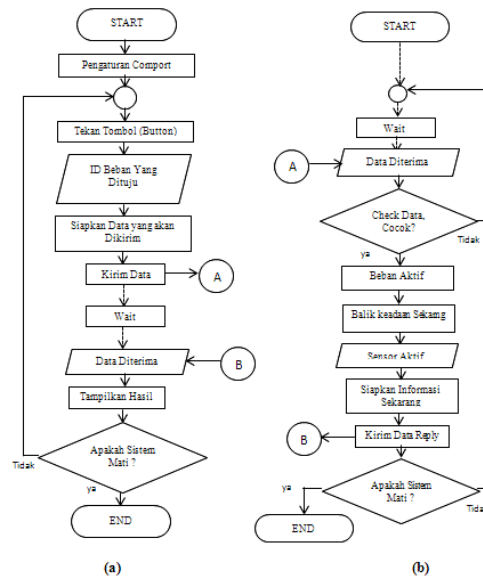


Gambar 23 Sketsa Perancangan Mode Controlling dan Monitoring

#### b. Form3 (sharing file)

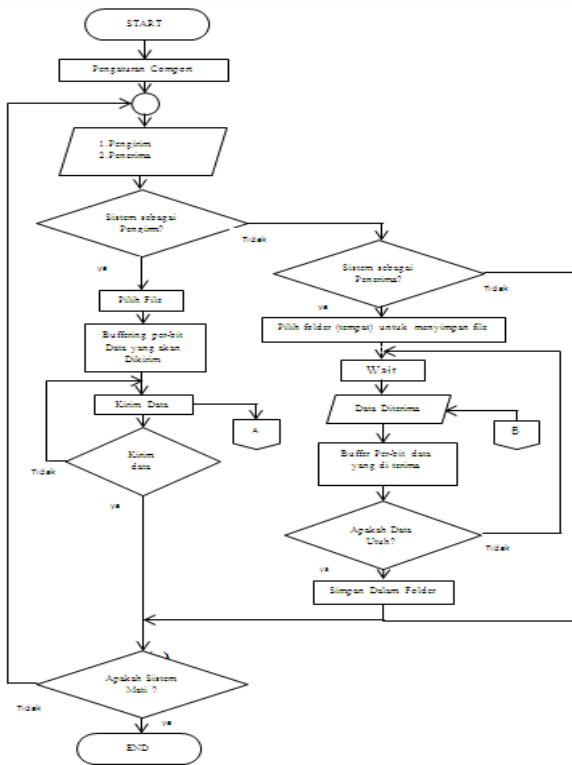


Gambar 24 Sketsa Perancangan Mode Sharing File

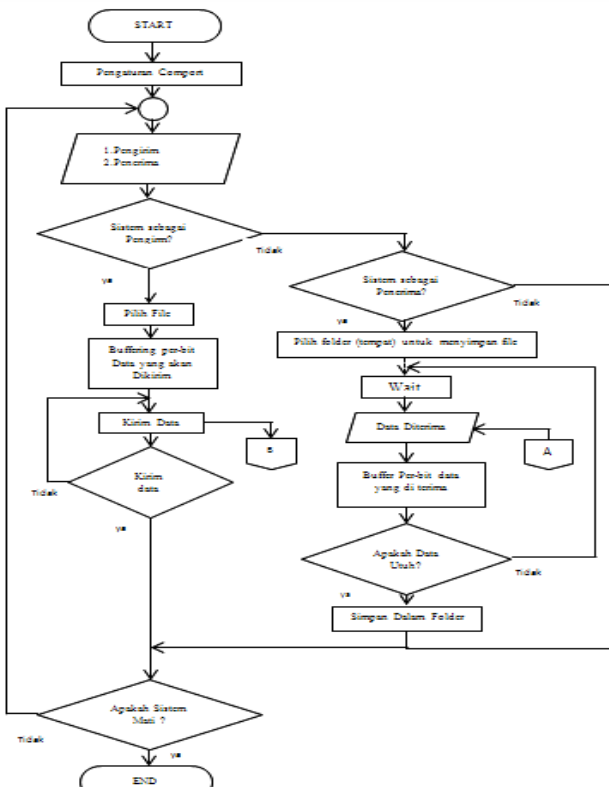


Gambar 25 Flowchart PLC Controlling dan Monitoring, Master dan Slave

IV.

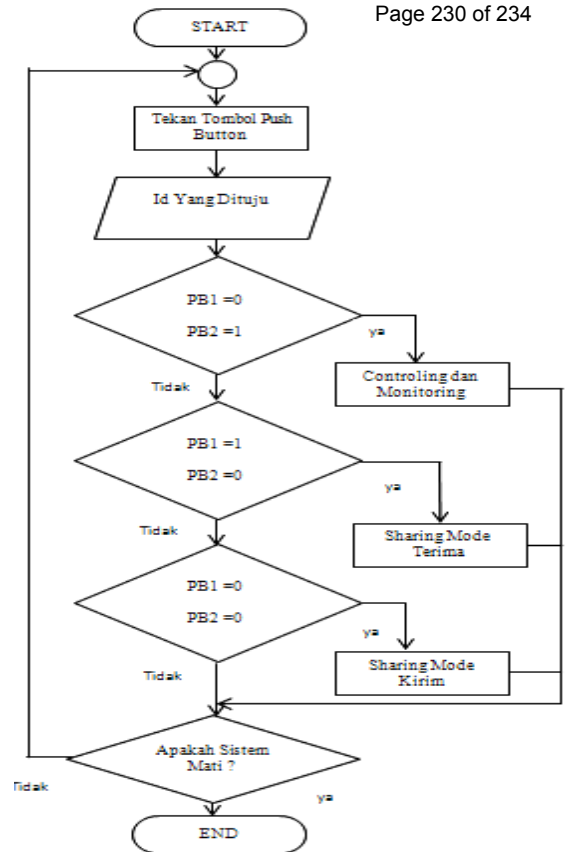


Gambar 26 Flowchart PLC Sharing File pada Master



Gambar 27 Flowchart PLC Sharing File pada Slave

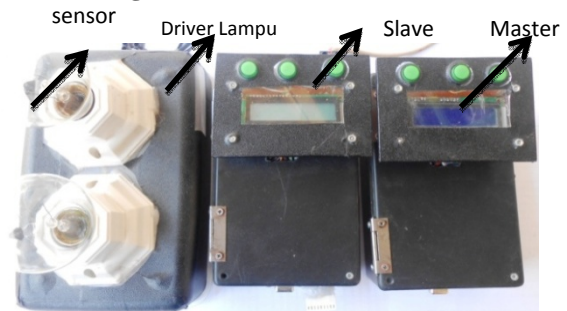
Gambar 28 Flowchart Mode Controlling, Monitoring dan Sharing file PLC (Master dan Slave)



HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Hardware dan Software PLC

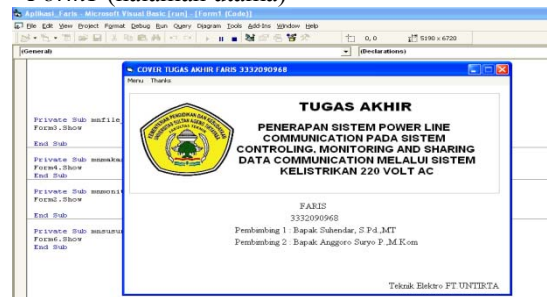
4.1.1 Perangkat Keras (Hardware)



Gambar 29 PLC (master dan slave) controlling, monitoring dan sharing file

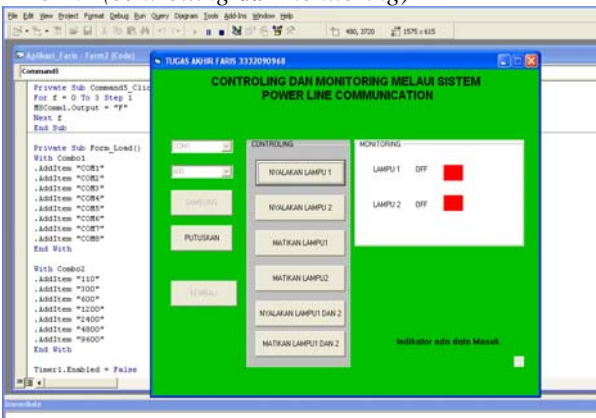
4.1.2 Perangkat Lunak (Software)

a. Form 1 (halaman utama)

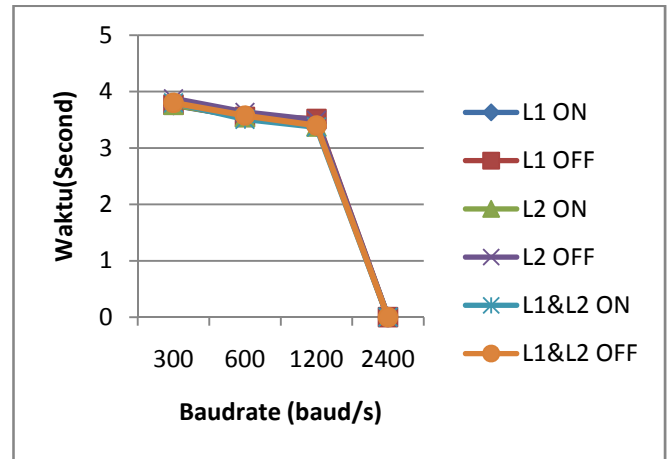


Gambar 30 Tampilan Form 1 Sebagai Halaman Utama

b. Form2 (controlling dan monitoring)

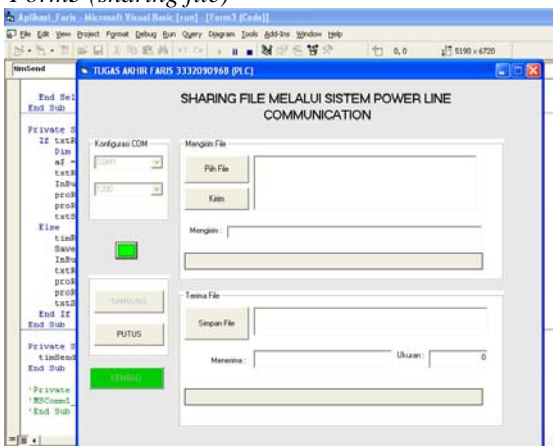


Gambar 31 Form2 sebagai Controlling dan Monitoring

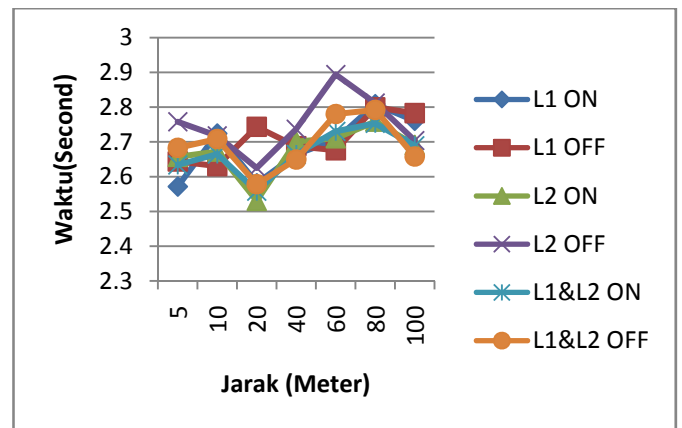


Gambar 34 Grafik Waktu Terhadap Baudrate Controlling dan Monitoring Lampu 1 dan 2 Pada Jarak 5-100 meter

c. Form3 (sharing file)

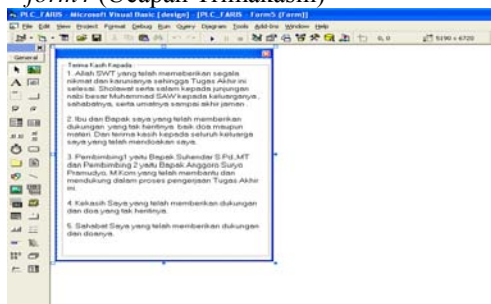


Gambar 32 Form3 sebagai Sharing File



Gambar 35 Grafik Waktu Terhadap Jarak Controlling dan Monitoring Lampu 1 dan 2 Pada Baudrate 300baud/s – 2400 baud/s

d. form4 (Ucapan Trimakasih)

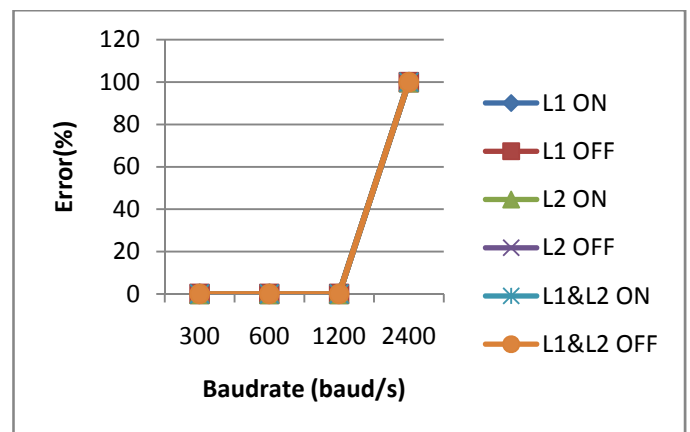


Gambar 33 Tampilan pada Form4

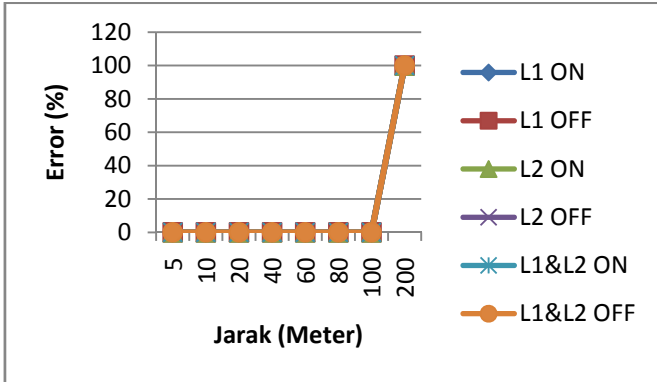
4.2 Pengujian Keseluruhan Sistem PLC

Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar keberhasilan dalam pengiriman dan menerima data baik untuk *controlling* dan *monitoring* maupun untuk *sharing file* dengan mempertimbangkan kualitas data terhadap jarak, *baudrate* dan waktu yang bisa dicapai oleh PLC, pengujian ini dilakukan menggunakan Multimeter Digital HELES UX37 menggunakan tegangan jala-jala sebesar 220V, frekuensi sebesar 50Hz dan menggunakan jenis kabel EXTRANA NYM dengan luas penampang kabel 2x1,5 mm<sup>2</sup>.

Adapun hasil pengujian *controlling* dan *monitoring* pada Gambar 34 sampai Gambar 37.

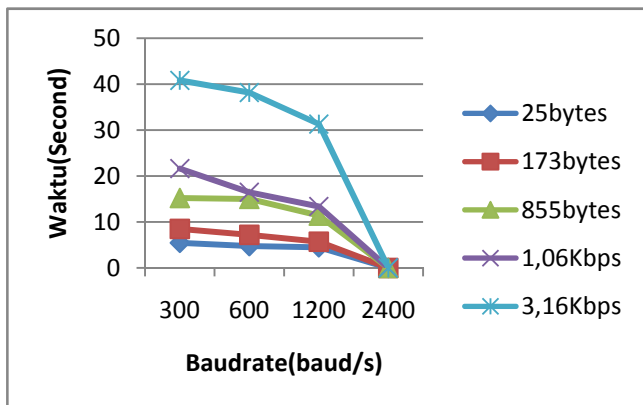


Gambar 36 Grafik Error Terhadap Baudrate Controlling dan Monitoring Lampu 1 dan 2 Pada Jarak 5 meter - 100 meter

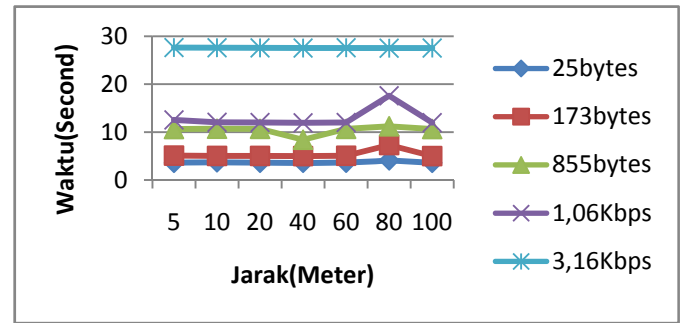


Gambar 37 Grafik Error Terhadap Jarak Controlling dan Monitoring Lampu1 dan 2 Pada Baudrate 300baud/s -2400 baud/s

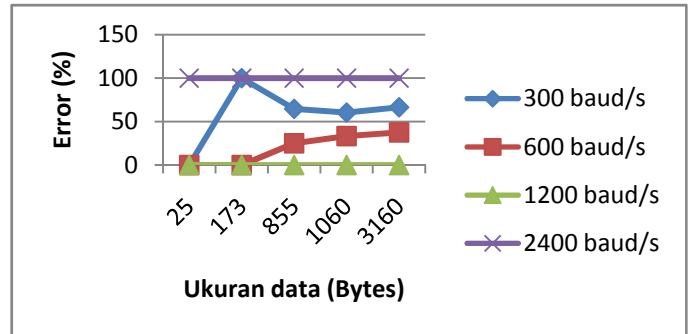
Pada Gambar 34 terlihat grafik waktu terhadap baudrate controlling dan monitoring lampu 1 dan 2 pada jarak 5 sampai dengan 100 meter. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar baudrate yang dipilih semakin cepat waktu eksekusi pada controlling dan monitoring, dalam penelitian ini PLC mampu mengirim data berupa serial sebagai alamat untuk mengendalikan dan memonitor masing-masing beban sampai dengan 1200baud/s dengan error 0% tergantung karakteristik masing-masing saluran listrik. Pada Gambar 36 menunjukkan error pada baudrate  $\geq 2400$ baud/s mencapai 100% dipengaruhi oleh kurangnya presisi pemilihan komponen sebagai coupling transformer yang berfungsi sebagai penghubung antara rangkaian PLC dengan jala-jala dan sekaligus untuk menghasilkan osilasi agar sinyal yang termodulasi bisa ditumpangkan ke jala-jala. Selain pemilihan baudrate, jarak juga mempengaruhi waktu pengiriman data pada Gambar 35 menunjukkan waktu terbesar pada jarak 60 meter untuk mengirim data serial berupa karakter "D" sebagai alamat untuk mematikan lampu 2, pengiriman tersebut dipengaruhi adanya perbedaan waktu menerima data pada pengulangan pengiriman yang diolah oleh mikrokontroler yang dipengaruhi oleh karakteristik saluran listrik dan pembebanan. Pada Gambar 37 menunjukkan error terjadi pada jarak  $\geq 200$  meter sebesar 100% yang dipengaruhi oleh karakteristik saluran listrik dan PLC. Adapun hasil pengujian sharing file pada Gambar 38 sampai Gambar 45



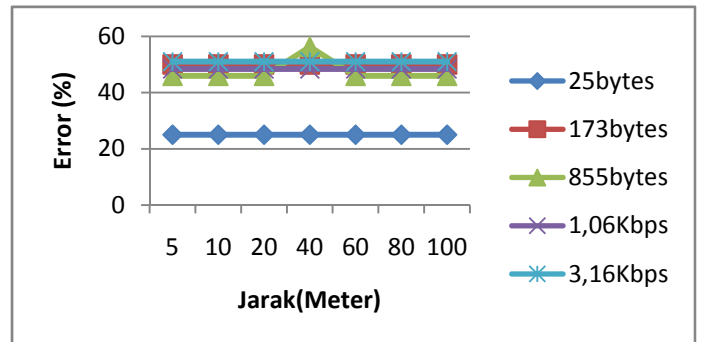
Gambar 38 Grafik Waktu Terhadap Baudrate Sharing File Komputer1 ke Komputer2 Pada Jarak 5 meter – 100 meter.



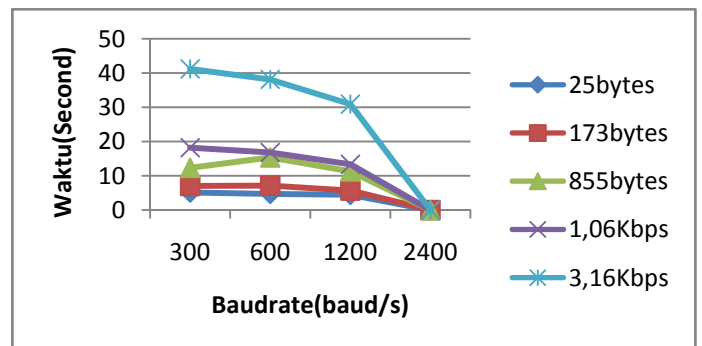
Gambar 39 Grafik Waktu Terhadap Jarak Sharing File Komputer1 ke Komputer2 Pada Baudrate 300baud/s -2400baud/s



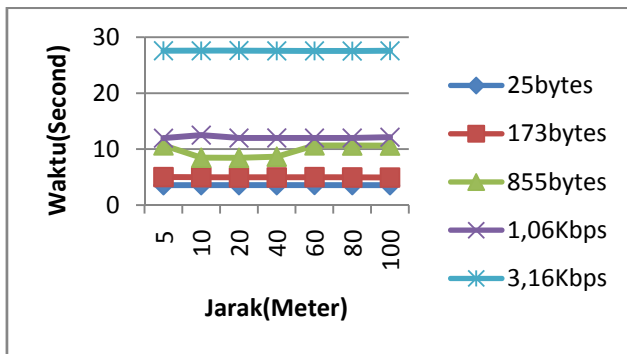
Gambar 40 Grafik Error Terhadap Ukuran Data Sharing File komputer1 ke komputer2 Pada Jarak 5 meter – 100 Meter



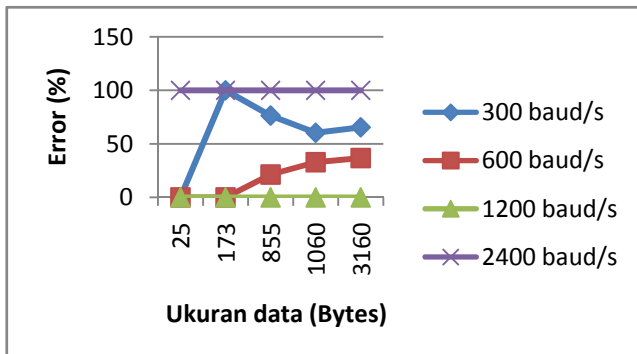
Gambar 41 Grafik Error Terhadap Jarak Sharing File komputer1 ke komputer2 Pada Baudrate 300baud/s – 2400baud/s



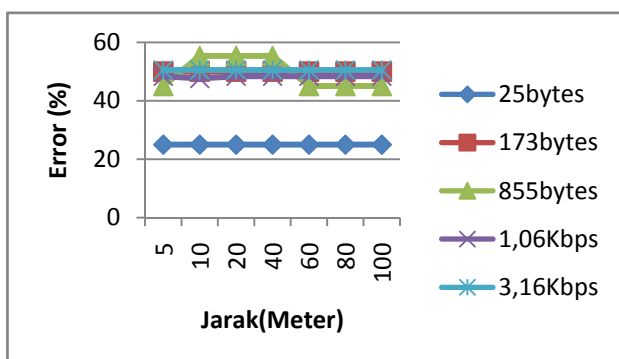
Gambar 42 Grafik Waktu Terhadap Baudrate Sharing File Komputer2 ke Komputer1 Pada Jarak 5 meter – 100 meter.



Gambar 43 Grafik Waktu Terhadap Jarak *Sharing File* Komputer1 ke Komputer2 Pada *Baudrate* 300baud/s - 2400baud/s.



Gambar 44 Grafik *Error* Terhadap Ukuran Data *Sharing File* komputer2 ke komputer1 Pada Jarak 5 meter - 100 meter



Gambar 45 Grafik *Error* Terhadap Jarak *Sharing File* komputer2 ke komputer1 Pada *Baudrate* 300baud/s - 2400baud/s

Pada Gambar 38 dan gambar 42 terdapat grafik waktu terhadap *baudratesharing file* pada jarak 5 meter sampai dengan 100 meter. Grafik tersebut menunjukkan nilai waktu semakin berkurang seiring tingginya *baudrate* yang dipilih dengan kata lain semakin cepat, namun pada *baudrate*  $\geq 2400$ baud/s nilai waktu menjadi nol karena terjadi *error* pada proses *sharing file* komputer1 ke komputer2 maupun sebaliknya, dipengaruhi oleh karakteristik saluran, dan kurang presisinya dalam pemilihan komponen sebagai *coupling transformers* antara *master* dan *slave* yang berfungsi selain menghasilkan osilasi juga sebagai penghubung antara rangkaian PLC dengan jaringan listrik. Pada Gambar 39 dan Gambar 43 terdapat grafik *error* terhadap ukuran data *sharing file* pada jarak 5 sampai dengan 100 meter. Grafik tersebut menunjukkan bahwa PLC sebagai *sharing file* pada *baudrate* 1200baud/s mampu *mentransfer file* dengan *error* 0% dengan ukuran *file* ditentukan pada penelitian ini dan dengan karakteristik masing-masing saluran listrik, *error*

yang terjadi pada *baudrate* dengan jarak dan ukuran data tertentu dipengaruhi oleh karakteristik dan rugi-rugi pada saluran listrik seperti *nois* dan *attenuasi* yang menyebabkan *interferensi* dan *redaman* pada sinyal data yang dikirimkan sehingga mempengaruhi kualitas data yang diterima.

## V. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Hasil perancangan dan pembuatan sistem kemudian dilakukan pengujian, pengukuran, dan analisa sistem yang telah dibuat sedemikian rupa, maka penulis dapat menyimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Peralatan yang dirancang dapat berfungsi dengan baik untuk *controlling*, *monitoring* dan *sharing file* antarkomputer.
2. Dari hasil pengujian rangkaian LM1893N dapat diketahui bahwa rangkaian tersebut dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditunjukkan oleh *datasheet*.
3. Dari hasil pengujian mampu mengirim data dengan baik yang difungsikan sebagai alamat untuk *controlling* dan *monitoring* maupun *sharing file* sampai dengan 1200baud/s atau 1200bps dan jarak sampai dengan  $\leq 200$  meter dengan *error* 0%.

### 5.2 Saran

Dalam perancangan alat ini jauh dari sempurna, oleh sebab itu perancang berharap ada yang menyempurnakan alat ini, adapun saran sebagai berikut:

1. PLC sangat sensitive, maka diharapkan menggunakan komponen yang toleransi sekecil mungkin.
2. Dalam menentukan komponen untuk *coupling transformers*, harus benar-benar presisi antara *master* dan *slave* dan sesuai dengan frekuensi kerja sebesar 125KHz.
3. Alat ini diharapkan dapat dikembangkan lebih luas lagi tidak terbatas *controlling*, *monitoring* dan *sharing file* antara PC atau komputer misalnya internate *via* jala-jala dan lain-lain.
4. Alat ini dapat dikembangkan menjadi sistem *full duplex*.
5. Alat ini dapat dikembangkan dengan kecepatan transfer data yang tinggi dan jangkauan yang lebih jauh dengan *error* sekecil mungkin.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Trivianto, Ferry. 2011. *Unit Sentral Data Sebagai Media Pengontrol Peralatan Listrik Berbasis ATmega8515 Dan Power Line Carrier*. Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Elektronika Negeri Surabaya-ITS
- [2] Sudaryanto R dan Basuki H.S, *Pengiriman Data Pengendali Beban Listrik Jinjangan Memakai PLC (Power Line Carrier) Berbasis Mikrokontroler AT89C51*. Fakultas Teknik Elektro Universitas Negeri Jember dan Pusat Penelitian Informatika LIPI
- [3] <http://Staff.uny.ac.id/sites/default/files/media%20transmisi%20dan%20modulasi.pdf>. (URL di kunjungi pada Tanggal 25 Maret 2014)
- [4] <http://sigitkus.lecture.ub.ac.id/files/2013/12/FSK.docx>. (URL di kunjungi pada Tanggal 25 Maret 2014)
- [5] Deniis R dan John C. 1992. *Komunikasi Elektronika*. Terjemahan Ir Kamal Idris Jakarta : Erlangga



- [6] Pratama V.P, 2012. *Rancang Bangun Data Logger Suhu Dengan Termokopel Menggunakan Labview* . Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- [7] National Semikonduktor. 1995.*LM1893/LM2893 Carrier – Current Transceiver*. DataSheet. *National Semiconductor*.
- [8] Texas Instrumen. 1998. MAX232, MAX2321 Dual EIA-232 Drier/Receiver.

ISBN 978-602-98211-0-9



9 786029 821109

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jend. Sudirman KM.3 Cilegon, Banten  
Phone: 0254-395502, 376712 Fax: 0254-395440  
<http://nciee.elektro.untirta.ac.id> - <http://elektro.untirta.ac.id>