

# JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND INFORMATION TECHNOLOGY

**Perencanaan *Indoor Building Coverage (IBC)* Jaringan 4G LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani**

Hajiar Yuliana, Raka Satya Pratama, Griffani Megiyanto Rahmatullah

**Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis *Internet of Things***

Mochammad Fadillah Putra, Sutisna, Firmansyah M S Nursuwars, Andri Ulus Rahayu

**Analisis Kebocoran Gas SF6 Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling**

Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah

**Analisis Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik dari Kesenakan Kaki dengan Metode *Energy Harvesting***

Ni Ketut H.D, Septia Rifaldi

**Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (*Long-range Energy Alternative Planning System*) Di UPJ PURBALINGGA**

Istirom Handhayani, Daru T.N. S.T, M.T, Eko M. S.T, M.T

***Microstrip Patch Rectangular* Susunan *Side By Side* Multielemen Pada Frekuensi 2,4 Ghz Berbasis *Silver Nanowires (AgNws)***

M Reza Hidayat, Irfan Noor Muhammad, Sofyan Basuki

**Implementasi Optocoupler Pc817 dan Relay Sebagai I/O Sistem *Remote Reset Axle Counter* Az S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan *Ethernet Client* Untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**

Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto



Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Achmad Yani

ISSN 1693-4989



**Vol. 20, No. 1, Juni 2022**

**E-ISSN : 2745-5688 P-ISSN : 1693-4989**

EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* adalah jurnal penelitian dan pengkajian aplikasi teknologi dalam bidang teknik elektro dan teknologi informasi yang dikelola oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani. Redaksi menerima tulisan para peneliti di lingkup perguruan tinggi dan lembaga penelitian. Tulisan bisa dalam Bahasa Inggris atau dalam Bahasa Indonesia. Makalah lengkap dikirim dalam bentuk *softcopy* ke alamat redaksi. Makalah akan dimuat apabila mengikuti panduan yang ditetapkan serta setelah mengalami penyuntingan dan penilaian dari redaksi ahli. Penilaian dari redaksi ahli dilaksanakan secara anonim.

## **PENGELOLA JURNAL**

### **Penanggung Jawab**

Dekan Fakultas Teknik Unjani

### **Pimpinan Umum**

Ketua Program Studi Teknik Elektro Unjani

### **Pimpinan Redaksi**

Atik Charisma, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57188567470 )

### **Tim Redaksi :**

1. Fauzia Haz, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215826492)
2. Dede Furqon Nurjaman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215826304)
3. Nivika Tifanny Somantri, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 7205030775)
4. Irvan Budiawan, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57205060472 )
5. Salita Ulitia Prini, S.Kom., M.T. (Unit Pusat Riset Elektronika & Telekomunikasi – BRIN, Scopus ID : 57208581701)
6. Griffani Megiyanto Rahmatullah, S.ST., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 57215431443 )
7. Adnan Raffi Al Tahtawi, S.Pd., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 57188575833)

Epsilon diterbitkan dua (2) kali dalam satu tahun  
Alamat Redaksi dan Tata Usaha:  
Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO Box 148 Cimahi 40533  
Telp./Fax. 022 – 6642063  
Website : [www.unjani.ac.id](http://www.unjani.ac.id)  
e-mail : [jurnal\\_epsilon@unjani.ac.id](mailto:jurnal_epsilon@unjani.ac.id)

---

**MITRA BESTARI**

- Reviewers : 1. Dr. Asep Najmurokhman, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 55919091000)
2. Handoko Rusian Iskandar, S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194219446)\*
3. Giri Angga Setia S.T., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215919610)\*
4. Dede Irawan Saputa, S.Pd., M.T. (Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57215833890)\*
5. M. Reza Hidayat, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57188573208)\*
6. Hajiar Yuliana, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57194007789)\*
7. Naftalin Winanti, S.T., M.T. Universitas Jenderal Achmad Yani, Scopus ID : 57200994613)\*
8. Yurika, S.T., M.T. (Politeknik TEDC Bandug, SINTA ID : 6109670)
9. Hanny Madiawati, S.ST., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 57193823758 )\*
10. Barokatun Hasanah S.T., M.T. (Institut Teknologi Kalimantan, Scopus ID : 57188567669)
11. Nurul Fahmi Arief, S.T., M.T. (Universitas Pendidikan Indonesia, SINTA ID : 6725597 )\*
12. Anugrah Adiwilaga S.ST., M.T (Universitas Pendidikan Indonesia, Scopus ID : 57194714935)
13. Fakhruddin Mangkusasmito, S.T., M.T. (Universitas Diponegoro, SINTA ID : 6720123)
14. Christiono, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 6679673 )
15. Andi Junaidi, S.T., M.T. (Institut Teknologi PLN, Scopus ID : 57200986174)
16. Imam Taufiqurrohman, S.Pd., M.T. (Universitas Siliwangi, Scopus ID : 53980722100 )\*
17. Agus Ramelan, S.Pd., M.T. (Universitas Negeri Solo, Scopus ID : 57203956839 )
18. Steven Humena, S.T., M.T. (Universitas Ichsan Gorontalo, Scopus ID : 57192240068)\*
19. Ayu Latifah, S.T., M.T. (Institut Teknologi Garut, Scopus ID : 57203959221)\*
20. Fachrur Razy Rahman, S.T.,M.T. (Politeknik Industri Logam Morowali, Scopus ID : 57280529800)
21. Martin, S.T., M.T. (Politeknik Negeri Bandung, Scopus ID : 7202782870)
22. Dinda Ayu Permatasari, S.S.T., M.T. (Politeknik Negeri Malang, Scopus ID : 57209274119)

## **DAFTAR ISI**

**Perencanaan Indoor Building Coverage (IBC) Jaringan 4G LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani**

*Hajiar Yuliana, Raka Satya Pratama, Griffani Megiyanto Rahmatullah* 1 - 9

**Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis Internet of Things**

*Mochammad Fadillah Putra, Sutisna, Firmansyah M S Nursuwars, Andri Ulus Rahayu* 10 - 19

**Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling**

*Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah* 20 - 28

**Analisis Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik dari Kaset Kaki dengan Metode Energy Harvesting**

*Ni Ketut H.D, Septia Rifaldi* 29 - 40

**Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) Di UPJ PURBALINGGA**

*Istirom Handhayani, Daru T.N. S.T, M.T, Eko M. S.T, M.T* 41 - 53

**Microstrip Patch Rectangular Susunan Side By Side Multielemen Pada Frekuensi 2,4 Ghz Berbasis Silver Nanowires (AgNws)**

*M Reza Hidayat, Irfan Noor Muhammad, Sofyan Basuki* 54 - 62

**Implementasi Optocoupler Pc817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset Axle Counter Az S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client Untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**

*Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto* 63 - 79

---

### **DARI REDAKSI**

Puji syukur kami sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kelimpahan rahmat-Nya sehingga kami bisa menerbitkan Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 20 No.1 Juni 2022. Pada edisi ini menerbitkan tujuh (7) artikel di bidang Teknik Elektro. Artikel tersebut yakni : (1) Perencanaan *Indoor Building Coverage (IBC)* Jaringan 4G LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani, (2) Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis *Internet of Things*, (3) Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling, (4) Analisis Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik dari Kaset Kaki dengan Metode *Energy Harvesting*, (5) Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak *LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System)* Di UPJ PURBALINGGA, (6) *Microstrip Patch Rectangular* Susunan *Side By Side* Multielemen Pada Frekuensi 2,4 Ghz Berbasis *Silver Nanowires* (Agnws), (7) Implementasi Optocoupler Pc817 dan Relay Sebagai I/O Sistem *Remote Reset Axle Counter Az S 350 U* Menggunakan STM32F103C8T6 dengan *Ethernet Client* Untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng.

Tim redaksi mengucapkan terimakasih kepada peneliti-peneliti yang berkenan mempublikasikan hasil penelitiannya di Jurnal EPSILON : *Journal of Electrical Engineering and Information Technology* Vol. 20 No.1 Juni 2022. Kami juga mengucapkan terimakasih kepada mitra bestari yang terlibat dalam proses *review* artikel-artikel pada edisi ini. Terimakasih kami ucapkan kepada Program Studi Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani yang telah mendukung penerbitan artikel-artikel. Besar harapan kami kepada para peniliti, perekayasa dan para fungsional lainnya untuk mempublikasikan hasil penelitiannya pada jurnal kami demi pengembangan ilmu pengetahuan teknologi khususnya di bidang teknik elektro. Kami menerima kritik dan saran untuk kemajuan jurnal EPSILON.

Cimahi, Agustus 2022

Dewan Redaksi

---

## **Perencanaan Indoor Building Coverage (IBC) Jaringan 4G LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani**

**Hajiar Yuliana <sup>1\*)</sup>, Raka Satya Pratama <sup>2)</sup>, Griffani Megiyanto Rahmatullah<sup>3)</sup>**

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>3)</sup>National Taiwan University of Science and Technology

<sup>\*)</sup>Korespondensi : hajiar.yuliana@lecture.unjani.ac.id

### **Abstrak**

Gedung Fakultas Psikologi Universitas Jenderal Achmad Yani (Unjani) merupakan gedung perkuliahan yang berada di lingkungan kampus Unjani dan belum memiliki instalasi sistem jaringan seluler khusus pada teknologi 4G di *indoor*. Kondisi tersebut menyebabkan level sinyal yang terukur di dalam gedung memiliki nilai RSRP lebih kecil dari -110 dBm yaitu terukur dengan nilai RSRP rata-rata sebesar 102,5 dBm. Level sinyal tersebut termasuk dalam kategori kualitas sinyal 4G yang kurang baik. Selain itu faktor lain yang menyebabkan pelemahan sinyal ialah material dan konstruksi bangunan tersebut. Setiap material di dalam gedung memiliki nilai redaman masing-masing. Oleh karena itu, agar user pada gedung tersebut dapat terlayani dengan baik, solusi yang dilakukan adalah melakukan perencanaan jaringan *Indoor Building Coverage (IBC)* 4G. Berdasarkan perhitungan *coverage planning* jumlah antena yang diperlukan dalam perencanaan sebanyak 14 antena yaitu lantai 1 dan 4 masing-masing sebanyak 3 antena, lantai 2 dan 3 masing-masing sebanyak 4 antena. Berdasarkan hasil simulasi pada *Radiowave Propagation Simulator (RPS)* diperoleh persentase nilai rata-rata nilai RSRP >-90 dBm sebesar 90,25 % dan persentase rata-rata nilai SINR >3 dB sebesar 89,06%. Berdasarkan hasil simulasi tersebut didapatkan bahwa hasil perencanaan yang telah dibuat telah memenuhi standar operator dan dapat diterapkan untuk memperbaiki *coverage* dan meningkatkan level sinyal di Gedung Fakultas Psikologi Unjani.

**Kata kunci :** *Radiowave Propagation Simulator (RPS), Indoor Building Coverage, Coverage Planning*

### **Abstract**

The Faculty of Psychology Building, Jenderal Achmad Yani University (Unjani), is a lecture building located on the Unjani campus and does not yet have an indoor network system installation. This condition causes the measured signal level in the building to have an RSRP value of less than -110 dBm. This signal level is included in the poor 4G signal quality category. In addition, other factors that cause signal attenuation are the building material and construction. Therefore, so that users in the building can be served properly, the solution is to plan the 4G Indoor Building Coverage (IBC) network. Based on the calculation of coverage planning, the number of antennas needed in the planning is 14 antennas, namely 3 antennas on the 1st and 4th floors, 4 antennas on the 2nd and 3rd floors. Based on the simulation results on the RPS software, the percentage of the average value of RSRP > -90 dBm was 90,25% and the average percentage of the SINR value > 3 dB was 89,06%. Based on the simulation results, it is found that the results of the planning that have been made have met operator standards and can be applied to improve coverage and increase the signal level in the Unjani Faculty of Psychology Building.

**Keywords :** *Radiowave Propagation Simulator (RPS), Indoor Building Coverage, Coverage Planning*

## **I. PENDAHULUAN**

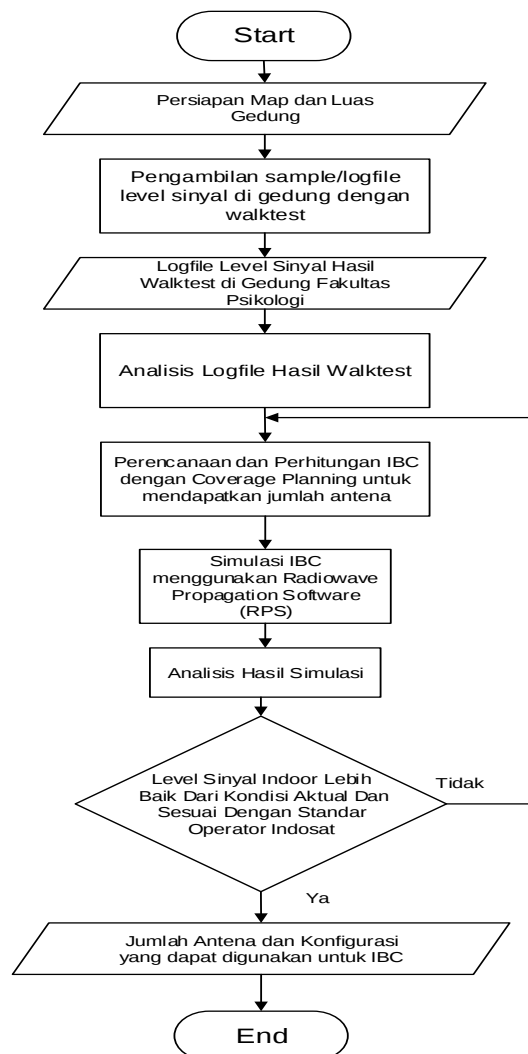
Saat ini tiap operator telekomunikasi terus mengoptimalkan kondisi jaringan khususnya pada jaringan 4G, seiring banyaknya pembangunan gedung-gedung bertingkat yang menyebabkan *coverage* dan kualitas sinyal dari *site* terganggu, khususnya di dalam gedung itu sendiri. Hal tersebut disebabkan karena besarnya redaman frekuensi diakibatkan dari dinding ataupun kaca gedung, yang akan

menurunkan kualitas sinyal dan berdampak langsung terhadap kualitas sinyal yang diterima pelanggan. Kualitas sinyal yang diterima *user*, tentunya akan mempengaruhi kualitas pelayanan (*Quality of service*) yang dirasakan oleh *user* [1].

Gedung Fakultas Psikologi Unjani merupakan gedung perkuliahan baru yang ada di lingkungan kampus Unjani dan belum memiliki instalasi sistem jaringan *indoor* (IBC) yang menyebabkan kondisi didalam gedung memiliki nilai *Reference Signal Received Power* (RSRP) -110 dBm, nilai tersebut ada dalam kategori kualitas sinyal 4G yang kurang baik. Banyak faktor kualitas sinyal yang kurang baik di gedung, salah satunya belum terinstal jaringan *Indoor Buliding Covarage* (IBC) [2]. Selain itu faktor lain yang menyebabkan pelemahan sinyal ialah material dan konstruksi bangunan tersebut. Material gedung sangat berpengaruh, karena setiap bahan mempunyai nilai *loss* atau redaman masing-masing. Semakin banyak dan semakin beragam material dalam gedung tersebut, akan semakin melemahkan sinyal dari luar yang masuk ke dalam gedung. Peningkatan kualitas sinyal LTE dapat dilakukan dengan cara Indoor Buliding Covarage (IBC).

## II. METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan bentuk perancangan desain untuk *Indoor Building Coverage* (IBC) LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani. Operator yang dianalisis pada penelitian ini adalah operator Indosat Ooredoo.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Proses dimulai dengan mempersiapkan map dan luas gedung terlebih dahulu seperti yang digambarkan pada Gambar 1. Dilanjutkan dengan pengambilan sampel/*logfile* level sinyal dengan *walktest* menggunakan *software GNEX Track Lite* kemudian *logfile* hasil *walktest* dianalisis. Langkah selanjutnya adalah melakukan perencanaan dan perhitungan *link budget* untuk perencanaan *Indoor Building Coverage* dengan *Coverage Planning* untuk mendapatkan jumlah antenna yang dibutuhkan disetiap lantai di gedung tersebut. Setelah langkah-langkah tersebut selesai maka dilanjutkan dengan simulasi IBC menggunakan *software Radiowave Propagation Simulator (RPS)*, hasil simulasi dianalisis untuk mengetahui level sinyal *Indoor* setelah perencanaan IBC. Apabila setelah perencanaan IBC diketahui level sinyal belum memenuhi standar RF parameter operator Indosat maka perlu dilakukan lagi perencanaan dan perhitungan IBC, dan jika level sinyal sudah memenuhi standar RF parameter operator Indosat maka dapat diketahui jumlah antenna dan konfigurasi yang dapat digunakan untuk *Indoor Building Coverage*. Adapun alasan pemilihan operator Indosat sebagai jaringan operator yang dianalisis, karena kondisi jaringan 4G Indosat di gedung tersebut, menunjukkan kondisi yang terburuk jika dibandingkan dengan operator lainnya di gedung tersebut.

Terdapat berbagai operator telekomunikasi yang digunakan untuk simulasi *Indoor Building Coverage* (IBC). Salah satunya penggunaan operator XL Axiata di Gedung Grand Asia Afrika Residence [2]. Selain itu operator Indosat Ooredoo juga digunakan untuk *Indoor Building Coverage* (IBC) Perencanaan jaringan IBC (*Indoor Building Coverage*) di Bandara Hang Nadim Batam [3] pada frekuensi 900 MHz dari sisi coverage dan capacity.

Tabel 1 Standar RSRP Indosat Ooredoo[5]

| Kode Warna | Range RSRP (dBm)        | Kualitas Sinyal |
|------------|-------------------------|-----------------|
|            | $-60 \leq RSRP < 0$     | Sangat baik     |
|            | $-70 \leq RSRP < -60$   | Baik            |
|            | $-80 \leq RSRP < -70$   | Cukup baik      |
|            | $-90 \leq RSRP < -80$   | Cukup buruk     |
|            | $-100 \leq RSRP < -90$  | Buruk           |
|            | $-120 \leq RSRP < -100$ | Sangat buruk    |

Tabel 2 Standar SINR Indosat Ooredoo

| Kode Warna | Range SINR (dB)     | Kualitas Sinyal |
|------------|---------------------|-----------------|
|            | $SINR \geq 20$      | Sangat baik     |
|            | $10 \leq SINR < 20$ | Baik            |
|            | $3 \leq SINR < 10$  | Cukup baik      |
|            | $0 \leq SINR < 3$   | Cukup buruk     |
|            | $-5 \leq SINR < 0$  | Buruk           |
|            | $SINR < -5$         | Sangat buruk    |

*Reference Signal Received Power* (RSRP) sebagai tingkat kekuatan sinyal di penerima. Sedangkan *Signal to Interference Noise Ratio* (SINR) sebagai perbandingan antara sinyal yang diterima dengan derau [4]. Indosat Ooredoo memiliki standar RSRP dan SINR seperti di Tabel 1 dan 2.

#### A. Penentuan Lokasi dan Informasi Gedung

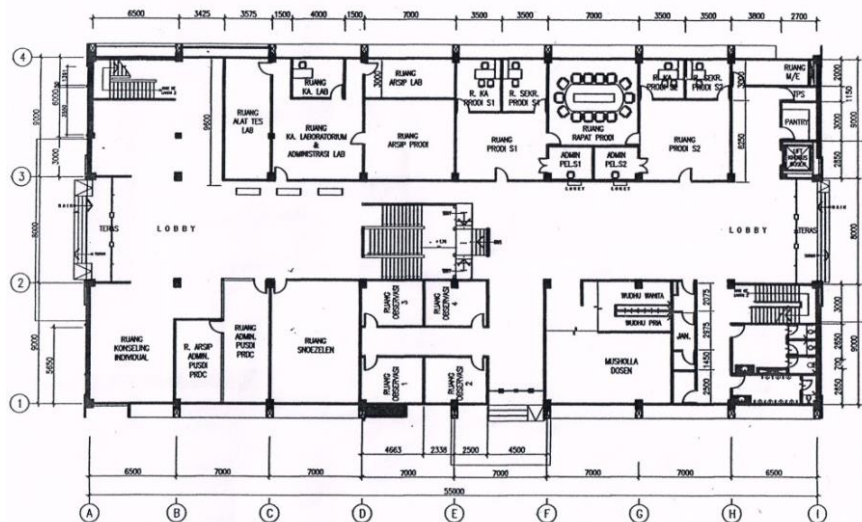
Universitas Jenderal Achmad Yani di Jalan Ters. Jenderal Sudirman Kota Cimahi memiliki Gedung Fakultas Psikologi seperti di Gambar 2. Bangunan dengan luas bangunan 1430 m<sup>2</sup> ini memiliki beberapa ruangan yang digunakan sebagai sarana dan prasana belajar mengajar, *lift*, toilet, mushola, perpustakaan dan aula. Gedung ini memiliki 4 lantai dengan bahan material gedung secara umum menggunakan

material beton *precast* dan bata ringan pada bagian dinding bagian luar, *brick* untuk pemisah antar ruangan dalam gedung, dan untuk setiap ruangan menggunakan pintu kayu (*wood*) dan kaca (*glass*).



Gambar 2 Gedung Fakultas Psikologi Unjani

Desain denah atau layout gedung digunakan untuk memudahkan proses *walk test before* di *software GNEX Track Lite* serta membantu saat proses desain dan simulasi agar sesuai dengan ukuran ruangan yang sebenarnya pada gedung. Lantai dasar pada gedung Fakultas Psikologi Unjani sebagian besar ruangan difungsikan untuk pelayanan mahasiswa dan ruangan masing-masing ketua prodi dan ketua laboratorium yang memiliki total luas lantai 1.430 m<sup>2</sup>. Lantai kedua pada gedung Fakultas Psikologi Unjani yang seluas 1.430 m<sup>2</sup> memiliki beberapa ruangan diantaranya perpustakaan, ruang tes individual, dan ruang praktikum eksperimen. Lantai ini pun terhubung dengan gedung Dekanat Fakultas Psikologi. Lantai 3 pada gedung Fakultas Psikologi Unjani digunakan sebagai ruang praktikum dan perkuliahan mahasiswa S1 dengan total luas 1.430 m<sup>2</sup>. Lantai keempat gedung Fakultas Psikologi Unjani terdapat ruangan kuliah S2 dan aula yang sering digunakan untuk kegiatan seminar ataupun pertemuan. Lantai ini memiliki luas 1.430 m<sup>2</sup>. Gambar 3 merupakan salah satu layout gedung Fakultas Psikologi Unjani yang berada di lantai 1.



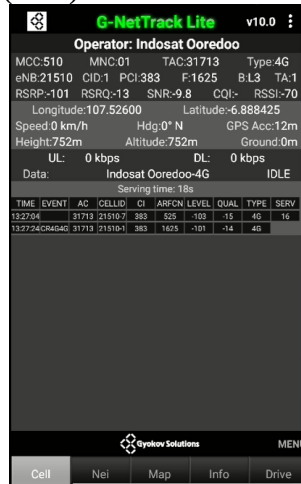
Gambar 3 Layout lantai 1

#### **B. Analisis Hasil Walk Test Gedung Aktual**

*Walk test* adalah tahapan proses untuk mengetahui nilai parameter RSRP secara *real* pada gedung Fakultas Psikologi Unjani menggunakan *software GNEX Track Lite*. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui kondisi dan kualitas sinyal operator Indosat Ooredoo sebelum dilakukan perencanaan *Indoor Building Coverage*. Tahapan *Walktest* dilakukan pada setiap lantai gedung dikarenakan setiap lantai memiliki *layout* dan kondisi yang berbeda, hal ini mempengaruhi kualitas sinyal seluler pada setiap

**Perencanaan Indoor Building Coverage (IBC) Jaringan 4G LTE di Gedung Fakultas Psikologi Unjani**  
**(Hajjar Yuliana, Raka Satya Pratama, Griffani Megiyanto Rahmatullah: Halaman 1-9)**

lantai tersebut. Gambar 4 merupakan salah satu hasil walktest di Lantai 1. Sedangkan hasil walktest terendah untuk SINR (dB) dan RSRP (dBm) berada di Lantai 3 seperti pada Tabel 3.



Gambar 4 Hasil walktest pada GNET Track Lite lantai 1

Tabel 3 Hasil walktest Gedung Fakultas Psikologi Unjani

| Lantai   | SINR (dB) | RSRP (dBm) |
|----------|-----------|------------|
| Lantai 1 | -9,8      | -101       |
| Lantai 2 | -2,6      | -97        |
| Lantai 3 | -12       | -120       |
| Lantai 4 | -4,2      | -92        |

### C. Perhitungan EIRP dan MAPL

EIRP adalah hasil penjumlahan dari *power output* BTS indoor dengan gain antenna dan dikurangi rugi-rugi yang dihasilkan pada saluran. Jika perhitungan EIRP sudah dilakukan maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai MAPL. Perhitungan MAPL ini dilakukan untuk mendapatkan jumlah *enodeB* yang direkomendasikan agar dapat melayani komunikasi semua *user* pada area tersebut [5] [6]. Perhitungan MAPL ini dilakukan dengan menghitung nilai redaman maksimum propagasi yang diizinkan menggunakan persamaan.

$$\text{EIRP} = \text{Tx Power (dBm)} + \text{Antena Gain (dB)} - \text{Loss saluran} \quad (1)$$

$$\text{MAPL} = \text{EIRP} - \text{Receiver Sensitivity} - \text{Interference Margin} + \text{Rx Antena Gain} - \text{Body Loss} - \text{Log Normal Fading Margin} \quad (2)$$

### D. Perhitungan Path Loss dan Radius Antena

Perhitungan *path loss* sangat penting dilakukan dalam perancangan indoor ini. *Path loss* merupakan perhitungan redaman yang terjadi karena *link* propagasi sinyal seperti dinding, *loss* udara, dan lain sebagainya [7]. Pada penulisan tugas akhir ini, model propagasi yang digunakan untuk dasar dari perhitungan mencari *path loss* adalah *COST 231 Multi Wall 39 Model*. Berikut merupakan cara perhitungan *path loss* pada perancangan indoor building coverage menggunakan persamaan 3.

$$L_T = L_{FSL} + L_C + \sum_{i=1}^M n_{wi} L_{wi} + n_f \left[ \frac{(nf+2)}{(nf+1)} - b \right] L_f \quad (3)$$

Dari persamaan 3, dimana  $L_T$  merupakan *Maximum Allowable Path Loss*,  $L_{FSL}$  adalah *Loss Free Space* Loss dengan satuan desibel (dB),  $M$  menunjukkan banyaknya tipe dinding,  $L_{wi}$  merupakan nilai loss material gedung dengan satuan desibel (dB),  $nf$  adalah jumlah lantai yang dilalui sinyal,  $L_C$  adalah *Constant Loss* (dB),  $n_{wi}$  merupakan jumlah tipe dinding  $i$  yang dilalui,  $L_f$  loss antar lantai (dB),  $b$  Empirical parameter (0,46),  $d_{km}$  adalah radius (km),  $L_{cakupan}$  adalah Luas cakupan antena/ sel (m<sup>2</sup>), dan simbol  $D$  menunjukkan radius antena (m).

Proses selanjutnya adalah melakukan penentuan material yang akan dilalui sinyal berdasarkan Tabel 4 untuk mendapatkan *indoor loss* dan mengetahui besar radius dari sebuah antenna.

Tabel 4 Redaman Material Dinding Lantai 1

| Material    | Loss (dB) | Value | Total (db) |
|-------------|-----------|-------|------------|
| Concrete    | 10        | 2     | 20         |
| Brick       | 3,5       | 3     | 10,5       |
| Window      | 2         | 1     | 2          |
| Wood        | 4         | 4     | 16         |
| Indoor loss |           |       | 48,5       |

#### E. Penentuan Jumlah Antena

Penentuan jumlah antena tiap lantai dilakukan dengan melakukan analisis perhitungan cakupan antenna berdasarkan persamaan (1), persamaan (2), dan persamaan (3) dengan mempertimbangkan redaman *obstacle* didalam gedung. Berdasarkan hal tersebut, pada perencanaan ini jumlah antena yang digunakan untuk dapat men-cover gedung sesuai dengan *coverage planning* dijabarkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Jumlah antena yang dibutuhkan per lantai

| Lantai | Jumlah Antena |
|--------|---------------|
| 1      | 4             |
| 2      | 3             |
| 3      | 4             |
| 4      | 3             |
| Total  | 14            |

#### F. Wiring Diagram

Wiring diagram adalah gambar diagram atau gambar kerja sederhana yang menggambarkan rangkaian pengkabelan peralatan elektronik dengan bantuan simbol-simbol dalam bentuk yang disederhanakan [8]. Dalam perencanaan perlu adanya desain atau wiring diagram untuk mempermudah dalam proses simulasi dan instalasi [9]. Pada perhitungan *coverage planning* telah dibahas mengenai perangkat yang akan digunakan dalam perencanaan ini. Jumlah total perangkat yang akan digunakan dalam melakukan IBC di Gedung Fakultas Psikologi Unjani di Tabel 6.

Tabel 6 Jumlah perangkat yang dibutuhkan

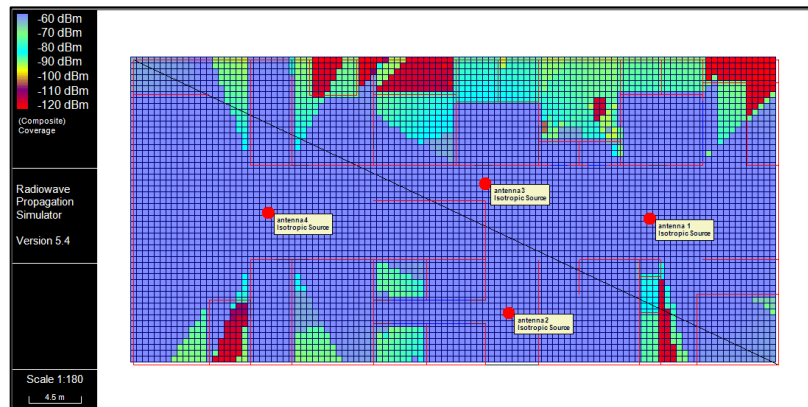
| Perangkat                     | Jumlah |
|-------------------------------|--------|
| Antena <i>Omnidirectional</i> | 14     |
| <i>Feeder</i> 7/8" (m)        | 671,2  |
| <i>Feeder</i> 1/2" (m)        | 14     |
| <i>Splitter</i> 2 Ways        | 28     |
| <i>Splitter</i> 3 Ways        | 6      |
| <i>Splitter</i> 4 Ways        | 8      |
| N-Connector                   | 168    |
| Combiner                      | 1      |
| EnodeB                        | 1      |

### III. HASIL DAN DISKUSI

Pada proses simulasi dan analisis menggunakan *software Radiowave Propagation Simulator* (RPS) 5.4. Perencanaan ini menggunakan model propagasi dengan tipe *Cost 231 Multi Wall Model* untuk memperhitungkan pengaruh *loss* dari material sehingga hasil yang didapatkan akan mendekati dengan kenyataan di lapangan. Hasil simulasi RPS ini akan menunjukkan nilai level sinyal berupa RSRP dan SINR. Berdasarkan hasil perhitungan *coverage planning* diketahui lantai 1 membutuhkan 4 antena, dengan peletakan antenna seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Level sinyal RSRP yang ditunjukkan pada Gambar 5 untuk lantai 1 didapati sebagian besar ruangan-ruangan telah ter-cover dengan baik ditandai dengan legend warna biru hingga kuning dengan nilai -60 dBm hingga -90 dBm. Beberapa

ruangan dengan *legend* merah (-120 dBm) dikarenakan *blocking* yang besar di area tersebut dan tidak terjangkau oleh luas cakupan antenna. Ruangan yang tidak mendapat cakupan sinyal dengan baik oleh antenna *indoor* mempertimbangkan ruangan tersebut bukan vital yang banyak kegiatan mahasiswa atau dosen dan ruangan berada di sisi luar gedung yang kemungkinan besar masih bisa mendapat sinyal dari *site* terdekat.

Berdasarkan hasil perhitungan *coverage planning* diketahui lantai 2 membutuhkan 3 antenna. Pada lantai 2 didapati sebagian besar ruangan-ruangan telah mendapat cakupan sinyal dengan baik ditandai dengan *legend* warna biru hingga kuning dengan nilai -60 dBm hingga -90 dBm. Beberapa ruangan dengan *legend* merah (-120 dBm) dikarenakan *blocking* yang besar di area tersebut dan tidak terjangkau oleh luas cakupan antenna. Ruangan yang tidak ter-cover dengan baik oleh antenna *indoor* mempertimbangkan ruangan tersebut bukan vital yang banyak kegiatan mahasiswa atau dosen dan ruangan berada di sisi luar gedung yang kemungkinan besar masih bisa mendapat sinyal dari *site* terdekat.



Gambar 5 Coverage RSRP lantai 1

Pada lantai 3 berdasarkan hasil perhitungan *coverage planning* membutuhkan 4 antenna didapati sebagian besar ruangan-ruangan telah mendapat cakupan sinyal dengan baik ditandai dengan *legend* warna biru hingga kuning dengan nilai -60 dBm hingga -90 dBm. Beberapa ruangan dengan *legend* merah (-120 dBm) dikarenakan *blocking* yang besar di area tersebut dan tidak terjangkau oleh luas cakupan antenna. Ruangan yang tidak ter-cover dengan baik oleh antenna *indoor* mempertimbangkan ruangan tersebut bukan vital yang banyak kegiatan mahasiswa atau dosen dan ruangan berada di sisi luar gedung yang kemungkinan besar masih bisa mendapat sinyal dari *site* terdekat.

Sedangkan untuk lantai 4 membutuhkan 3 antenna yang sebagian besar ruangan-ruangan telah ter-cover dengan baik ditandai dengan *legend* warna biru hingga kuning dengan nilai -60 dBm hingga -90 dBm. Beberapa ruangan dengan *legend* merah (-120 dBm) dikarenakan *blocking* yang besar di area tersebut dan tidak terjangkau oleh luas cakupan antenna. Ruangan yang tidak ter-cover dengan baik oleh antenna *indoor* mempertimbangkan ruangan tersebut bukan vital yang banyak kegiatan mahasiswa atau dosen dan ruangan berada di sisi luar gedung yang kemungkinan besar masih bisa mendapat sinyal dari *site* terdekat.

#### A. Persentase Nilai RSRP dan SINR

Perhitungan persentase dilakukan untuk mengetahui nilai level sinyal RSRP dan SINR yang dinyatakan dalam bentuk persentase. Persentase ini menunjukkan besarnya level sinyal tersebut jika dibandingkan dengan level sinyal secara keseluruhan di ruangan tersebut.

Tabel 7 menunjukkan persentase nilai RSRP setiap lantai berdasarkan hasil simulasi. Tabel 7 menunjukkan hasil persentase nilai RSRP di gedung Fakultas Psikologi Unjani berdasarkan hasil histogram pada simulasi rata-rata sebesar 90,25 % untuk range nilai RSRP diatas -90 dBm, dengan hasil tersebut *coverage* didalam gedung sudah membaik dan dikatakan cukup bagus. Tabel 8 menunjukkan persentase nilai SINR setiap lantai berdasarkan hasil simulasi. Tabel 8 menunjukkan hasil persentase simulasi dari nilai SINR di Gedung Fakultas Psikologi Unjani berdasarkan hasil simulasi rata-rata didapatkan hasil sebesar 89,06 % untuk range nilai SINR diatas 3 dB.

Tabel 7 Persentase nilai RSRP hasil simulasi

| Legend RSRP    | Range Nilai (dBm) | Kategori     | Lantai 1 | Lantai 2 | Lantai 3 | Lantai 4 | Rata rata level sinyal untuk 4 lantai |
|----------------|-------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------------|
|                | 0<=-60            | SANGAT BAGUS | 65,44%   | 53,29%   | 43,32%   | 57,76%   | 54,95%                                |
|                | -60<=-70          | BAGUS        | 14,58%   | 2,64%    | 4,56%    | 4,97%    | 6,69%                                 |
|                | -70<=-80          | CUKUP BAGUS  | 0,21%    | 26,15%   | 43,29%   | 28,13%   | 24,45%                                |
|                | -80<=-90          | CUKUP BURUK  | 8,32%    | 7,13%    | 0,37%    | 0,82%    | 4,16%                                 |
|                | -90<=-100         | BURUK        | 7,27%    | 0,03%    | 0%       | 0,56%    | 1,97%                                 |
|                | -100<=-120        | SANGAT BURUK | 4,18%    | 10,76%   | 8,46%    | 7,76%    | 7,79%                                 |
| Total          |                   |              | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%                               |
| RSRP > -90 dBm |                   |              | 88,55%   | 89,21%   | 91,54%   | 91,68%   | 90,25%                                |

Tabel 8 Persentase nilai SINR hasil simulasi

| Legend SINR | Range Nilai (dB) | Kategori     | Lantai 1 | Lantai 2 | Lantai 3 | Lantai 4 | Rata rata level sinyal untuk 4 lantai |
|-------------|------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------------|
|             | >=20             | SANGAT BAGUS | 46,47%   | 74,25%   | 61,03%   | 49,67%   | 57,86%                                |
|             | 10 <= 20         | BAGUS        | 9,81%    | 2,85%    | 3,46%    | 7,47%    | 5,90%                                 |
|             | 3 <= 10          | CUKUP BAGUS  | 28,44%   | 13,06%   | 24,91%   | 34,83%   | 25,31%                                |
|             | 0 <= 3           | CUKUP BURUK  | 8,78%    | 4,32%    | 4,10%    | 4,80%    | 5,50%                                 |
|             | -5 <= 0          | BURUK        | 6,50%    | 5,52%    | 6,50%    | 3,23%    | 5,44%                                 |
|             | <=-5             | SANGAT BURUK | 0%       | 0%       | 0%       | 0%       | 0,00%                                 |
| Total       |                  |              | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%  | 100,00%                               |
| SINR > 3 dB |                  |              | 84,72%   | 90,16%   | 89,40%   | 91,97%   | 89,06%                                |

#### B. Rekapitulasi Hasil Perencanaan

Rekapitulasi dilakukan untuk membandingkan nilai parameter RSRP dan SINR antara hasil *walk test before* dengan hasil perencanaan di simulasi *software* RPS. Tabel 7 menunjukkan rekapitulasi dari hasil *walktest before* dan hasil simulasi.

Pada Tabel 9 menunjukkan perbandingan nilai parameter RSRP dan SINR sebelum dan setelah dilakukan perencanaan *Indoor Buinding Coverage*. Dapat dilihat bahwa sebelum dilakukan perencanaan nilai RSRP dan SINR berada dibawah standar parameter RF operator Indosat yang menyebabkan tidak dapat melayani *user* dengan baik. Namun setelah dilakukan perencanaan dengan simulasi area gedung Fakultas Psikologi Unjani mendapatkan perbaikan *coverage* ditandai dengan adanya perbaikan dan peningkatan nilai RSRP dan SINR yang sudah memenuhi standar RF parameter operator Indosat.

Tabel 9 Perbandingan level sinyal aktual dan hasil simulasi

| Lantai                       | Hasil Walktest before |              | Hasil Simulasi |              | Kenaikan Nilai |              |
|------------------------------|-----------------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
|                              | RSRP (dBm)            | SINR (dB)    | RSRP (dBm)     | SINR (dB)    | RSRP (dB)      | SINR (dB)    |
| Lantai 1                     | -101                  | -9,8         | -50,01         | 31,51        | 50,99          | 40,31        |
| Lantai 2                     | -97                   | -2,6         | -55,98         | 30,83        | 41,02          | 33,43        |
| Lantai 3                     | -120                  | -12          | -56,41         | 42,20        | 63,59          | 54,2         |
| Lantai 4                     | -92                   | -4,2         | -50,24         | 37,95        | 41,76          | 42,15        |
| <b>Nilai Level Rata-Rata</b> | <b>-102,5</b>         | <b>-7,15</b> | <b>-53,16</b>  | <b>35,62</b> | <b>49,34</b>   | <b>42,77</b> |

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil *walk test* di Gedung Fakultas Psikologi Unjani menggunakan operator indosat dapat diketahui nilai parameter RSRP dan SINR di gedung tersebut tidak memenuhi standar parameter RF operator Indosat dengan rata-rata nilai RSRP -102,5 dBm dan SINR -7,15 dB. Berdasarkan perhitungan *coverage planning* perencanaan *Indoor Building Coverage* didapatkan jumlah antenna di Gedung Fakultas Psikologi Unjani yang dibutuhkan sebanyak 14 antenna dengan rincian kebutuhan antenna di lantai 1 dan 3 sebanyak 4 antenna serta kebutuhan antenna di lantai 2 dan 4 sebanyak 3 antenna. Kondisi RSRP di setiap lantai di Gedung Psikologi Unjani yang berada di atas -90 dBm rata-rata memiliki persentase 90,25% dan SINR diatas 3 dB yakni 89,06%. Sehingga jika hasil simulasi ini dibandingkan dengan kondisi aktual, terdapat perbaikan level rata-rata RSRP untuk seluruh lantai yaitu sebesar 49,34 dB dan perbaikan level rata-rata SINR untuk seluruh lantai yaitu sebesar 42,77 dB.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. d. Lingga Wardhana, 4G Handbook Jilid 2, nulisbuku.com, 2015.
- [2] B. T. Hastuti, "Perencanaan Indoor Building Coverage (IBC) Teknologi LTE di Apartemen Grand Asia Afrika Residence," Bandung, 2017.
- [3] U. M. M. Rachman, "In Building Coverage (IBC) LTE Network Planning Analysis at Hang Nadim Airport," *ISSN E-Proceeding of Engineering*, 2018.
- [4] H. T. Co., LTE Radio Network Capacity Dimensioning, Huawei, 2020.
- [5] S. B. Hajiar Yuliana, "Indoor Signal Quality Improvement using Coverage Planning Method in Indoor Building Coverage Simulation," in *IEEE 5th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, 2019.
- [6] A. C. S. Hajiar Yuliana, "Perencanaan dan Simulasi Indoor Building Coverage (IBC) Pada Jaringan Long Term Evolution (LTE) Menggunakan Radiowave Propagation Simulation (RPS)," in *Semnastek UMJ*, Jakarta, 2018.
- [7] H. Y. S. B. Gusvira Lestari, "Simulasi Indoor Building Coverage (IBC) Pada Teknologi Long Term Evolution (LTE) Di Gedung Hindarto Joesman Fakultas Kedokteran UNJANI," *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, vol. 21, pp. 1-11, 2022.
- [8] L. B. W. P. Alfin Himaturokhman, "Analisa Model Propagasi Cos 231 Multi Wall pada Perancangan Jaringan Indoor Femtocell HSDPA Menggunakan Radiowave Propagation Simulator," Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom, Purwokerto.
- [9] A. W. Muhammad Amanaf, "Simulasi Perancangan Indoor Building Coverage (IBC) Pada Jaringan 4G LTE Frekuensi 850 MHz di RSUD Banyumas Menggunakan RPS 5.4," *Journal of Technology and Informatic*, 2019.

## **Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis *Internet of Things***

**Mochammad Fadillah Putra<sup>1\*)</sup>, Sutisna<sup>2)</sup>, Firmansyah M S Nursuwars<sup>3)</sup>, Andri Uls Rahayu<sup>4)</sup>**

<sup>1,2,4)</sup> Program Studi Teknik Elektro Universitas Siliwangi

<sup>3)</sup> Program Studi Informatika Universitas Siliwangi  
Jl. Siliwangi No. 24, Tasikmalaya, 46115

<sup>\*)</sup> Korespondensi: [mfadillahputra@student.unsil.ac.id](mailto:mfadillahputra@student.unsil.ac.id)

### **Abstrak**

Kebakaran merupakan suatu kejadian yang paling sering berdampak pada sebagian perkotaan maupun pedesaan. Kejadian ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan kerugian dan adanya korban jiwa. Pada umumnya kebakaran ini tidak dapat diperkirakan kapan dan dimana akan terjadi. Semakin besar kebakaran yang terjadi semakin besar juga dampak yang akan dihadapi. Untuk memperkecil risiko dari kebakaran dibutuhkan suatu alat yang dapat memberikan informasi kebakaran secara dini yang dapat dimonitor agar kebakaran bisa ditangani dengan cepat. Dengan penerapan teknologi *internet of things* menggunakan board ESP32 melalui jaringan internet serta dibantu dengan sensor api, sensor gas, sensor suhu mampu mendeteksi adanya potensi kebakaran secara dini dan memberikan keakuratan lokasi kejadian kebakaran agar dapat ditangani dengan cepat dan tepat. Data yang ditampilkan berupa status api, kebocoran gas, dan pemantauan suhu. Maka dalam penelitian ini, dibuat sebuah alat yang mampu mempermudah memberikan informasi kebakaran dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan selama 15,81 detik dan sistem mampu memberikan lokasi secara akurat dikarenakan lokasi yang diset merupakan identitas atau *address* dari masing – masing dari *device* sensor, dan *gateway*.

**Kata kunci :** ESP32, Sensor Api, Sensor Gas, Sensor Suhu, *Internet of Things*.

### **Abstract**

Fire is an event that most often effects both urban and rurales areas. This incident is very dangerous because it can cause loss and loss life. In general, this fire cannot be predicted when and where they will occur. The bigger the fire, the bigger the impact, to minimize the risk of fire, a tool is needed that can provide early fire information that can be monitored so that fires can be handled quickly. With the application of *internet of things* technology using an ESP32 board via internet network and assisted by fire sensors, gas sensors, and temperature sensors, they are able to detect potential fires early. The data displayed is in the form of fire status, gas leaks, and temperature monitoring So in this study, a tool is made that is able to make it easier to provide fire information with the average time needed for 15.81 seconds and the system is able to provide accurate location because the location set is the identity or address of each of the sensor devices. and gateways.

**Keywords :** ESP32, Fire Sensor, Gas Sensor, Temperature Sensor, *Internet of Things*.

## **I. PENDAHULUAN**

Kebakaran merupakan kejadian yang paling sering berdampak pada sebagian perkotaan maupun pedesaan. Kejadian ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan adanya korban jiwa. Pada umumnya kebakaran ini tidak dapat diperkirakan dimana dan kapan terjadi. Hal tersebut banyak terjadi di daerah pemukiman padat penduduk yang akan memicu dampak yang lebih besar jika tidak ditanggapi dengan cepat dan tepat. Bahaya dari dampak yang disebabkan oleh kebakaran dapat meliputi kehidupan ekonomi masyarakat yang mengalaminya. [1].

Dalam Upaya pemadaman kebakaran, biasanya warga bergotong royong untuk memadamkan api dengan cara menyiram api dengan air agar padam dan tidak menjalar lebih luas lagi dengan peralatan seadanya sebelum petugas pemadam kebakaran datang ke lokasi kejadian. Namun ada beberapa permasalahan ketika terjadinya kebakaran dan api bisa dengan cepat menjalar lebih meluas lagi, diantaranya adalah

akses jalan yang sulit, sehingga pemadam kebakaran akan membutuhkan waktu untuk lebih lama sampai ke lokasi, validasi lokasi kejadian yang tidak tepat, keterlambatan informasi yang disampaikan oleh korban dan diterima oleh pemadam kebakaran dikarenakan nyatanya ketika terjadi kebakaran korban panik berlarian dengan cepat tanpa memberikan informasi lanjutan ke pihak terkait. [2].

Dengan penerapan teknologi internet of things seperti riset-riset sebelumnya [3][4][5], memungkinkan untuk membuat sebuah sistem yang terintegrasi satu sama lain. Sistem yang dibuat diharapkan mampu mendeteksi adanya potensi kebakaran secara dini melalui jaringan internet. Maka dalam penelitian ini akan dibuat sebuah alat yang mampu mempermudah memberikan informasi kebakaran dengan waktu yang singkat dituangkan dalam judul “Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis Internet of Things” dengan harapan agar memberikan manfaat serta untuk mengurangi kejadian yang tidak diinginkan.

## **II. KAJIAN PUSTAKA**

### **A. Sistem Mitigasi Terintegrasi**

Sistem Mitigasi Terintegrasi adalah suatu pendekatan teknologi yang menggabungkan semua unsur inti sistem manajemen data, sistem manajemen konten, dan semuruh informasi tentang tindakan mengurangi dampak bencana menjadi suatu platform umum [6].

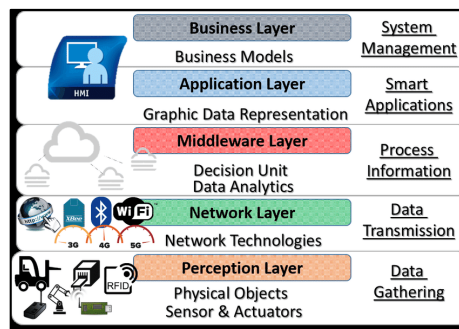
### **B. Kebakaran**

Kebakaran adalah suatu peristiwa terjadinya nyala api yang sulit dikendalikan, umumnya kebakaran dapat membahayakan keselamatan jiwa maupun harta benda. [7].



Gambar 1. Segitiga Api

### **C. Internet of Things**



Gambar 2. Layer Internet Of Things

Gambar 2 menunjukkan layer *Internet of Things*. *Internet Of Things* merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang digunakan untuk perangkat monitoring dan kontrol untuk menunjang kebutuhan manusia berbasis teknologi internet [8].

*D. ESP32*

ESP32 adalah serangkaian sistem berbiaya rendah dan berdaya rendah pada mikrokontroller chip dengan wifi terintegrasi dan bluetooth ganda. Pada mikrokontroller ini sudah tersedia modul wifi dalam chip sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi internet of things [9].



Gambar 3. ESP32

*E. Sensor Api*

Sensor Api terdiri dari photoresistor NPN silicon YG1006 yang mampu membaca radiasi infra merah, sensor ini dapat mendeteksi api atau panjang gelombang lainnya pada rentang 760nm – 1100nm. Memiliki sudut pembacaan 60 derajat. Suhu pengoperasian sensor api ini adalah -25°C hingga 85°C. [9].



Gambar 4. Sensor Api

*F. Sensor Gas*

Sensor Gas MQ6 adalah sensor gas yang cocok untuk mendeteksi gas LPG (Liquid Petroleum Gas), dapat mendeteksi gas LPG dan termasuk gas yang terdiri dari dalam gas LPG yaitu propana dan butana. [10].



Gambar 5. Sensor Gas

*G. Sensor Suhu*

Sensor Suhu DHT22 merupakan salah satu sensor suhu dan kelembaban yang juga dikenal sebagai sensor AM2302. Sensor ini hampir sama dengan sensor suhu type DHT11 [11].



Gambar 6. Sensor Suhu

#### *H. Liquid Crystal Display*

Liquid Crystal Display adalah suatu jenis media display (tampilan) yang menggunakan kristal cair untuk menghasilkan gambar.



Gambar 7. LCD

#### *I. Push Button*

Push button adalah tipe saklar yang hanya kontak sesaat saja saat ditekan dan setelah dilepas maka akan kembali lagi menjadi No., biasanya saklar tipe No. ini memiliki rangkaian penguncinya yang dihubungkan dengan kontaktor dan tipe No. digunakan untuk tombol on.

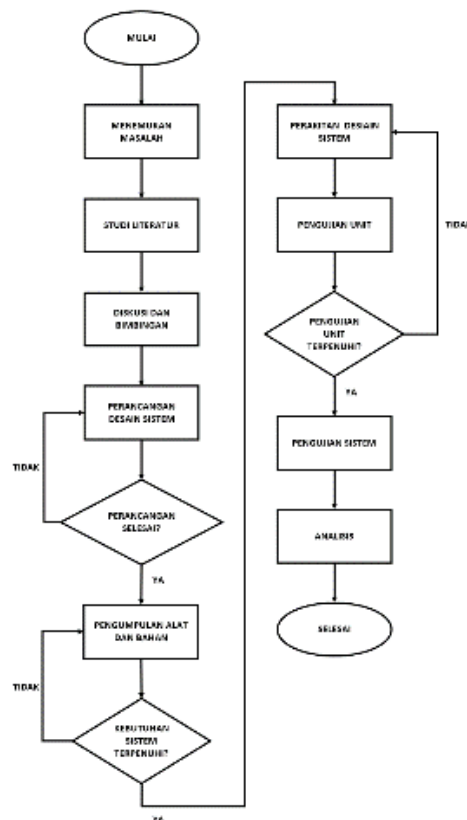


Gambar 8. Push Button

### **III. METODE**

#### *A. Diagram Alir Penelitian*

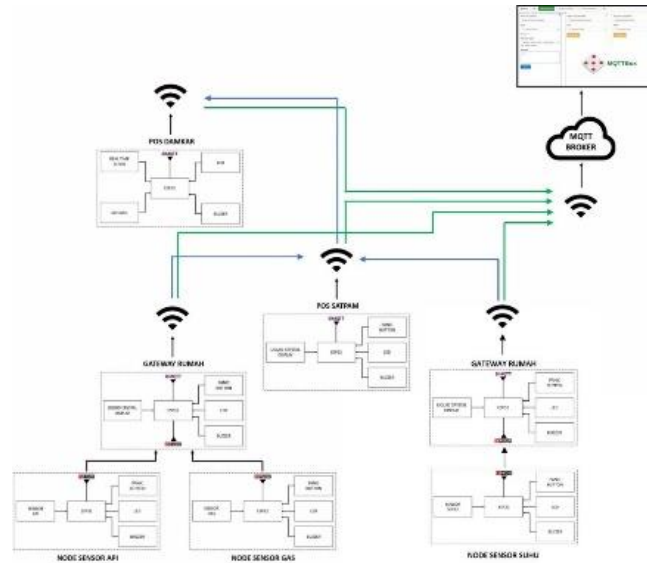
Gambar 9 merupakan diagram alur yang menjelaskan tahapan penelitian Sistem Mitigasi Terintegrasi tanggap Darurat Kebakaran berbasis Internet Of Things.



Gambar 9. Flowchart Penelitian

### B. Arsitektur Sistem

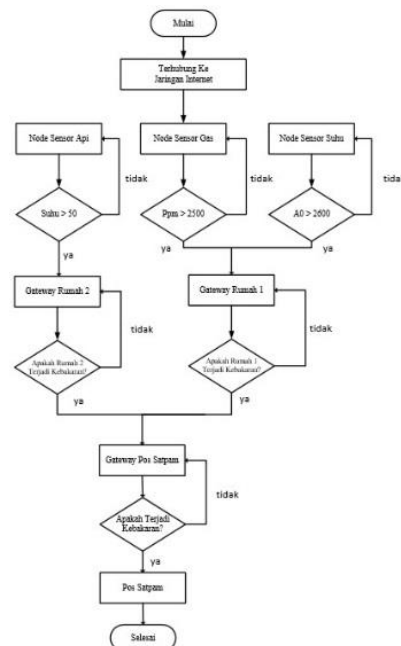
Pada Gambar 10 merupakan arsitektur sistem dalam perancangan sistem ini, bagian dari perancangan sistem yang menggambarkan komponen fisik yang dibuat. Dalam rancangan ini komponen sistem disusun dan dibuat sehingga menjadi satu kesatuan sehingga dapat digunakan untuk menjalankan sistem tersebut.



Gambar 10. Arsitektur Sistem

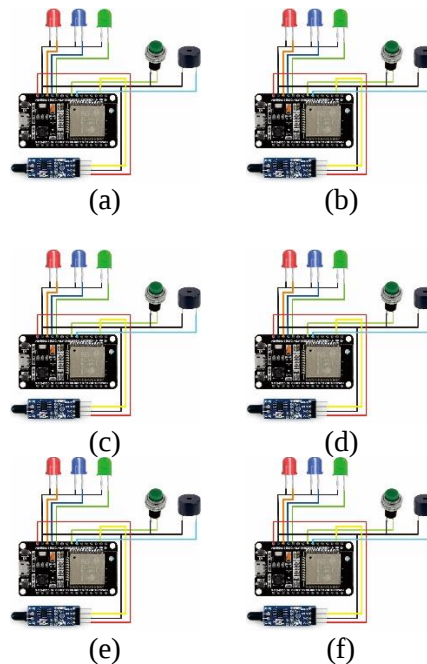
### C. Alur Diagram Sistem

Pada Gambar 11 merupakan alur diagram sistem dari penelitian sistem mitigasi terintegrasi tanggap darurat kebakaran berbasis internet of things, ketika semua device terhubung dengan jaringan internet maka sistem akan aktif, sensor api, sensor gas, dan sensor suhu mulai menginisialisasi jika sistem mendeteksi adanya potensi kebakaran dengan parameter jika sensor api membaca nilai analog melebihi 2600, sensor gas melebihi 2500ppm, sensor suhu mendeteksi suhu ruangan diatas 50 derajat celsius maka data akan dikirim ke gateway rumah, jika data telah sampai ke gateway rumah lalu ter validasi bahaya, maka data akan diteruskan ke pos satpam, dan jika di pos satpam ter validasi adanya kebakaran maka data akan di kirim ke pos Damkar.



Gambar 11. Alur Diagram Sistem

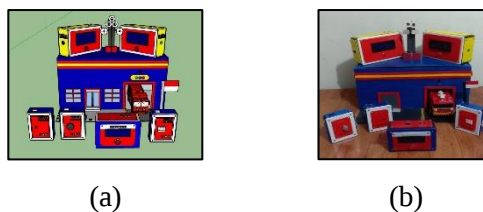
#### D. Perancangan Perangkat Keras



Gambar 12. Wiring Diagram Sistem:

- a. node sensor api, b. node sensor gas,
- c. node sensor suhu, d. gateway rumah,
- e. gatewaypos satpam, f. pos Damkar.

Dalam perancangan alat ini akan dibuat Pemodelan dengan rancangan alat. Pada Gambar. 12 akan menampilkan skematis perancangan *hardware* dari alat Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis *Internet of Things*, yang bertujuan untuk mengetahui komponen apa saja yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem.



Gambar 13. Hasil Perancangan Hardware:  
a. Desain skecthup, b. Hasil akhir hardware

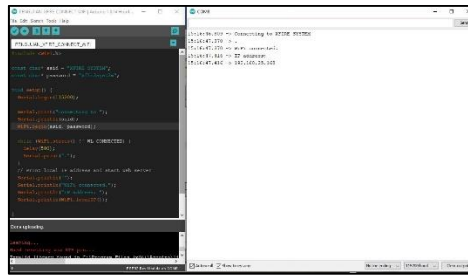
Pada Gambar 12 ditampilkan hasil akhir dari perancangan dan pembuatan hardware Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran Berbasis *Internet of Things*.

#### IV. HASIL DAN DISKUSI

##### A. Pengujian Unit

##### 1) Pengujian Mikrokontroler

Pada pengujian mikrokontroler ini dilakukan dengan menguji apakah mikrokontroler dapat digunakan dengan melihat indikator pada led yang sudah tertanam pada mikrokontroler esp32. Serta pengujian yang kedua dilakukan dengan cara mengkoneksikan mikrokontroler esp32 dengan wifi, hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar. 14. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat digunakan untuk keperluan sistem.



Gambar 14. Serial Monitor

## 2) Pengujian Sensor Api

Pengujian sensor api dilakukan dengan menguji sensor berdasarkan jarak setiap 50 cm sekali, jika analog sensor membaca nilai kurang dari 2600 maka indikator LED menyala. Pengujian sensor dilakukan dengan cara melihat nilai analog berdasarkan jarak dengan reaksi dari luar untuk pengujian sensor api yang bisa dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel 2 merupakan nilai rata-rata dari pengujian sensor api.

TABEL 1. PENGUJIAN SENSOR API

| Jarak (cm) | Indikator LED | Rata-rata Analog Output |
|------------|---------------|-------------------------|
| 50         | Menyala       | 0                       |
| 100        | Menyala       | 0                       |
| 150        | Menyala       | 73,8                    |
| 200        | Menyala       | 182,7                   |
| 250        | Menyala       | 816,7                   |
| 300        | Menyala       | 1257,1                  |
| 350        | Tidak menyala | 3274,6                  |

Hasil pengujian sensor api menunjukkan bahwasanya sensor api dapat mendeteksi potensi kebakaran sampai jarak 300cm.

## 3) Pengujian Sensor Gas

Pengujian sensor gas dilakukan dengan menguji sensor berdasarkan jarak setiap 10 cm sekali, membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur yang sudah terstandarisasi untuk mengetahui error dari pembacaan sensor yang akan digunakan untuk sensor gas MQ6 dengan sensor gas GD13. Pada Tabel 2 merupakan nilai rata-rata dari pengujian sensor gas.

TABEL 2. PENGUJIAN SENSOR GAS

| Jarak (cm) | Rata-rata MQ6(ppm) | Rata-rata GD13(ppm) | Error (%) |
|------------|--------------------|---------------------|-----------|
| 10         | 2500               | 2500                | 0         |
| 20         | 2500               | 2500                | 0         |
| 30         | 2500               | 2500                | 0         |
| 40         | 1818,5             | 1823,5              | 0,27      |

Hasil pengujian sensor MQ6 yang di bandingkan dengan sensor gas GD13 didapatkan jarak sensitif sensor gas MQ6 dan GD13 paling efektif paling jauh adalah 30cm dengan nilai error 0%

## 4) Pengujian Sensor Suhu

Pada pengujian sensor suhu dilakukan dengan pengujian selama 24 jam, membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur yang sudah terstandarisasi untuk mengetahui error dari pembacaan

sensor yang akan digunakan untuk sensor suhu DHT22 dengan sensor suhu taffware HTC-2. Pada Tabel 3 merupakan hasil rata-rata dari pengujian pada sensor suhu.

**TABEL 3. PENGUJIAN SENSOR SUHU**

| Rata-rata |       |       |       |           |       |
|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|
| DHT22     |       | HTC-2 |       | Error (%) |       |
| Suhu      | Humid | Suhu  | Humid | Suhu      | Humid |
| 29,01     | 87,68 | 28,92 | 87,29 | 0,32      | 0,44  |

Hasil pengujian sensor suhu DHT22 yang dibandingkan dengan sensor suhu Taffrware HTC-2 didapatkan nilai error rata-rata untuk suhu 0,32% dan kelembaban 0,44%.

## **B. Pengujian Sistem**

### **1) Zonasi Rumah 1**

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan cara menguji pengiriman data sensor dari *Node Sensor Api* ke *Gateway Rumah 1*, pengiriman data sensor dari *Node Sensor Gas* ke *Gateway Rumah 1*, pengiriman data *panic button* dari *Node Sensor Api* ke *Gateway Rumah 1*, pengiriman data *panic button* dari *Node Sensor Gas* ke *Gateway Rumah 1*, serta waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *Node Sensor Api*, dan *Node Sensor Gas* ke *Gateway Rumah 1*.

**TABEL 4. PENGUJIAN SISTEM ZONASI RUMAH 1**

| Rata-rata           |                     |                     |                     |                 |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| Node Sensor Api     |                     | Node Sensor Gas     |                     | Gateway Rumah 1 |
| Data Sensor         | Panic Button        | Data Sensor         | Panic Button        |                 |
| Terkirim 2,93 detik | Terkirim 2,35 detik | Terkirim 2,95 detik | Terkirim 2,59 detik | Data Terkirim   |

Berdasarkan Tabel 4 yang merupakan hasil dari pengujian sistem zonasi Rumah 1 dengan *Node Sensor api* berhasil mengirimkan data ke *Gateway Rumah 1* dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,93 detik, dan rata-rata pengiriman data panic button 2,35 detik. *Node Sensor gas* berhasil mengirimkan data sensor ke *Gateway Rumah 1* dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,95 detik, dan rata-rata pengiriman data panic button 2,59 detik.

### **2) Zonasi Rumah 2**

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan cara menguji pengiriman data sensor dari *Node Sensor Suhu* ke *Gateway Rumah 2*, pengiriman data *panic button* dari *Node Sensor Suhu* ke *Gateway Rumah 2*, serta waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *Node Sensor Suhu* ke *Gateway Rumah 2*.

**TABEL 5. PENGUJIAN SISTEM ZONASI RUMAH 2**

| Rata-rata           |                     |                 |
|---------------------|---------------------|-----------------|
| Node Sensor Suhu    |                     | Gateway Rumah 2 |
| Data Sensor         | Panic Button        |                 |
| Terkirim 2,95 detik | Terkirim 2,53 detik | Data diterima   |

Berdasarkan Tabel 5 yang merupakan hasil dari pengujian sistem zonasi Rumah 2 dengan *Node Sensor suhu* berhasil mengirimkan data ke *Gateway Rumah 2* dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,95 detik, dan rata-rata pengiriman data *panic button* 2,53 detik.

### 3) Zonasi Perumahan

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan cara menguji pengiriman data panic button dari Gateway Rumah 1 ke Gateway Pos Satpam, pengiriman data panic button dari Gateway Rumah 2 ke Gateway Pos Satpam, serta waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari Gateway Rumah ke 1 dan Gateway Rumah 2 ke Gateway Pos Satpam.

TABEL 6. PENGUJIAN SISTEM ZONASI PERUMAHAN

| Rata-rata           |                     |                    |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Gateway Rumah 1     | Gateway Rumah 2     | Gateway Pos Satpam |
| Terkirim 5,07 detik | Terkirim 5,24 detik | Data diterima      |

Berdasarkan Tabel 6 yang merupakan hasil dari pengujian sistem zonasi perumahan dengan Gateway Rumah 1 berhasil mengirimkan data ke Gateway pos satpam dengan rata-rata pengiriman data 5,07 detik, dan Gateway Rumah 2 berhasil mengirimkan data ke Gateway pos satpam dengan rata-rata pengiriman data 5,24 detik.

### 4) Zonasi Kota

Pengujian sistem yang dilakukan adalah dengan cara menguji pengiriman data panic button dari Gateway Pos Satpam ke Gateway Pos Damkar, serta waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari Gateway pos satpam ke pos Damkar.

TABEL 7. PENGUJIAN SISTEM ZONASI KOTA

| Rata-rata           |               |
|---------------------|---------------|
| Gateway Pos Satpam  | Pos Damkar    |
| Terkirim 4,67 detik | Data diterima |

Berdasarkan Tabel 7 yang merupakan hasil dari pengujian sistem zonasi kota dengan Gateway pos satpam berhasil mengirimkan data ke pos Damkar dengan rata-rata pengiriman data 4,67 detik.

### C. Analisis Sistem

Berdasarkan hasil dari pengujian sistem secara keseluruhan yaitu pada saat Node Sensor Api berhasil mengirimkan data ke gateway rumah 1 dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,93 detik dan rata-rata pengiriman data panic button 2,35 detik. Node Sensor Gas berhasil mengirimkan data ke gateway rumah 2 dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,95 detik dan rata-rata pengiriman data panic button 2,59 detik. Node Sensor Suhu berhasil mengirimkan data ke gateway rumah 1 dengan rata-rata pengiriman data sensor 2,95 detik dan rata-rata pengiriman data panic button 2,53 detik. Gateway Rumah 1 berhasil mengirimkan data ke gateway pos satpam dengan rata-rata pengiriman 5,07 detik. Gateway 2 berhasil mengirimkan data ke gateway pos satpam dengan rata-rata pengiriman 5,24 detik. Dan Gateway pos satpam berhasil mengirimkan data ke pos Damkar dengan rata-rata pengiriman 4,67 detik.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa penelitian Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat Kebakaran berbasis Internet of Things ini mampu memberikan informasi kebakaran melalui node sensor api, node sensor gas, node sensor suhu, gateway rumah 1, gateway rumah 2, gateway pos satpam, dan pos Damkar dengan teknologi internet of things dalam waktu rata – rata 15,81 detik. Kemudian sistem ini juga mampu memberikan lokasi secara akurat dikarenakan lokasi yang di set merupakan identitas atau address dari masing – masing device.

Namun Sistem Mitigasi Terintegrasi Tanggap Darurat berbasis Internet of Things, masih perlu dilakukan penyempurnaan sistem, maka diberikan saran untuk membangun pengembangan yang lebih baik pada penelitian ini. Berikut saran yang bisa dikembangkan dalam penelitian selanjutnya, yaitu dengan melengkapi node sensor tiap rumah minimal Sensor Api, Sensor Gas, dan Sensor Suhu sebagai parameter yang dapat memberikan informasi terkait adanya potensi kebakaran.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Putri, A. N. (2018). Prototype Sistem Pendeteksi Kebakaran Gedung Menggunakan Metode Iot (Internet Of Things) Berbasis Nodemcu Skripsi Oleh : Adelita Putri Noviana.
- [2] Sasmoko, D., & Mahendra, A. (2017). Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Kebakaran Berbasis Iot Dan Sms Gateway Menggunakan Arduino. *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 8(2), 469. <https://doi.org/10.24176/simet.v8i2.1316>.
- [3] Rahayu, A. U., Nursuwars, F. M. S., Risnandar, M. A., Taufiqurrahman, I., & Faridah, L. (2022). SPEED WARNING SYSTEM PADA TAKSI ONLINE BERBASIS IOT MENGGUNAKAN OBD II. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 3(2).
- [4] Husni, E., Hertantyo, G. B., Wicaksono, D. W., Hasibuan, F. C., Rahayu, A. U., & Triawan, M. A. (2016, July). Applied Internet of Things (IoT): car monitoring system using IBM BlueMix. In *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)* (pp. 417-422). IEEE.
- [5] Rahayu, A. U. (2021). Sistem Monitoring Perilaku Pengendara Mobil Berbasis Internet of Things. *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, 5(01), 18-24.
- [6] Muhammad, L. (2018). Implementasi Sistem Indikasi Kebakaran Menggunakan Mikrokontroler Dalam Smarthome. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, 2(12), 7374-7379.
- [7] Ma'ruf, M. (2006). [edoman Umum Mitigasi Bencana. 1-54.
- [8] N. Hiron, A. Andang, and H. Setiawan, "Batch Processing Method in Machine to Machine Wireless Communication as Smart and Intelligent System," *Int. J. Futur. Comput. Commun.*, vol. 5, no. 3, pp. 163–166, 2016.
- [9] Adrinta, M.A., & Ihsan, M. (n.d.) Sensor. 1.
- [10] Handayani. (2015). BAB II Tinjauan Pustaka, Pengertian Switc / Saklar. 7-43.

## **Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling**

**Naftalin Winanti<sup>1\*)</sup>, Een Taryana<sup>2)</sup>, Gina Nur Sa'adah<sup>3)</sup>**

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro

Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>\*)</sup>Korespondensi : Naftalin.winanti@lecture.unjani.ac.id

### **Abstrak**

Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET) merupakan komponen sistem tenaga yang memiliki fungsi sebagai pusat penyaluran (transmisi) yang menghubungkan sistem transmisi tegangan ekstra tinggi melalui saluran-saluran ataupun gardu-gardu distribusi. Berdasarkan pemasangan dari peralatannya GISTET, mengandalkan gas hexafluorida (SF<sub>6</sub>) sebagai media isolasi pada peralatan. Peralatan di GISTET tidak selalu dalam keadaan baik, GISTET juga sering mengalami gangguan. Salah satu gangguan yang sering di alami GISTET yaitu, kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT (*circuit breaker*). Hal ini diperlukan penanganan yang disebut dengan *overhaul* GISTET. Maka dari itu penulis akan menganalisis tentang kebocoran Gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi pada PMT (*circuit breaker*) di GISTET Saguling.

Menurut hasil perhitungan pada penelitian ini tekanan gas SF<sub>6</sub> dengan tegangan tembus PMT saling berkaitan. Pada tekanan saat kebocoran gas terjadi berada pada nilai di bawah 5 kgf/cm<sup>2</sup>, maka tekanan tersebut hanya mampu menahan tegangan tembus dengan nilai yang rendah sehingga tidak dapat meredam busur api dengan baik, sedangkan pada tekanan di atas 5 kgf/cm<sup>2</sup> mampu menahan tegangan tembus dengan nilai yang tinggi sehingga sangat efektif untuk meredamkan busur api. Selain itu tekanan gas SF<sub>6</sub> berkaitan juga terhadap kecepatan busur api karena semakin rendah nilai tekanan pada saat kebocoran gas maka kecepatan busur api ikut menurun sehingga busur api akan lambat untuk di redam.

**Kata kunci :** Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET), Gas SF<sub>6</sub>, PMT (*Circuit Breaker*), *Overhaul*

### **Abstract**

*Gas Insulated Switchgear Extra High Voltage (GISTET) is a power system component that has a function as a distribution center (transmission) that connects the extra high voltage transmission system through distribution channels or substations. Based on the installation of GISTET equipment, relying on hexafluoride gas (SF<sub>6</sub>) as an insulating medium on the equipment. Equipment at GISTET is not always in good condition, GISTET also often experiences problems. One of the disturbances that GISTET often experiences is the leakage of SF<sub>6</sub> gas at the PMT (circuit breaker). This requires a treatment called a GISTET overhaul. So in this paper the author will analyze the SF<sub>6</sub> gas leak as insulation on the PMT (circuit breaker) at GISTET Saguling.*

*According to the results of the calculations in this final project, the gas pressure of SF<sub>6</sub> and the breakdown voltage of PMT are interrelated. At the pressure when the gas leak occurs is at a value below 5kgf/cm<sup>2</sup> it is able to withstand the voltage. Penetrating with a high value so it is very effective to reduce arc fire. In addition, the SF<sub>6</sub> gas pressure is also related to the arc speed because the lower the pressure value at the time of gas leakage, the arc speed decreases, so the arc will be slow to muffle.*

**Keywords :** Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi (GISTET), PMT (*Circuit Breaker*), *Overhaul*

## **I. PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini meningkat cukup signifikan, terbukti banyaknya jaringan jaringan listrik yang telah dibuat oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Tidak hanya di kota-kota besar, saat ini listrik juga telah mencapai ke daerah terpencil. Sebelum listrik disalurkan ke beban atau konsumen maka listrik terlebih dahulu diturunkan tegangannya dari pembangkit melalui jaringan transmisi dan distribusi lalu ke beban.

## ***Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling***

***(Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28)***

---

Semakin banyaknya kawasan industri di Indonesia semakin membutuhkan listrik. Selain bidang industri juga terdapat pemukiman padat penduduk yang juga membutuhkan *supply* listrik sebagai kebutuhan sehari-hari. Dengan meningkatnya kebutuhan daya listrik maka diperlukan gardu induk yang bisa menyalurkan energi listrik khususnya untuk industri industri besar.

GISTET yang merupakan kepanjangan dari Gas *Insulated Swithgear* Tegangan Ekstra Tinggi adalah Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi masa kini yang menggunakan teknologi maju dan telah banyak dipakai di banyak gardu untuk melayani kebutuhan listrik. GISTET merupakan teknologi inovatif yang digunakan sebagai sistem penghubung serta pemutus jaringan listrik dengan tempat yang tidak memakan lahan yang luas diantara kepadatan penduduk di wilayah suatu tempat. GISTET memerlukan gas untuk media isolasi pada setiap peralatannya, yang dimanakan gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluoride) sebagai material isolasi elektrik dan pemadaman busur api [1].

Keunggulan Peralatan di GISTET sangat berpengaruh terhadap kinerja pada pralatan-peralatan GISTET. Jika peralatan mengalami suatu gangguan atau kerusakan maka akan berpengaruh buruk pada kinerja peralatan tersebut. Salah satu peralatan di di GISTET yang sering terjadi gangguan adalah *Circuit Breaker* atau yang dikenal dengan PMT.

Pada salah satu GISTET yaitu GISTET saguling pernah mengalami suatu gangguan kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT. Gangguan tersebut bisa terjadi dikarenakan O-Ring seal dan part-part pada PMT telah rusak [2]. Kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT sangat berbahaya bagi kinerja PMT serta dapat mempengaruhi lingkungan. Pada PMT GISTET Saguling kebocoran gas SF<sub>6</sub> mengakibatkan penurunan kinerja pada pada PMT. Menurunnya kualitas isolasi PMT sehingga tidak dapat meredam busur api dengan maksimal, dan apabila tidak segera di atasi dapat menyebabkan terkontaminasi oleh zat lain serta pengaruh paling parah dapat mengakibatkan PMT meledak. Pengecekan dan pemantauan terhadap tekanan untuk mendeteksi adanya kebocoran gas SF<sub>6</sub>. PMT tanpa manometer bisa menggunakan alat leak detector untuk mendeteksi kebocoran atau mengetahui tekanan gas SF<sub>6</sub> mengalami penurunan dengan munculnya alarm SF<sub>6</sub> low pada kompartemen [2].

Solusi untuk kebocoran gas SF<sub>6</sub> yaitu dapat dilakukan penambahan gas SF<sub>6</sub> terlebih dahulu, dan solusi permanennya dilakukan *Overhaul* pada kompartemen PMT dan mengganti *O-ring seal* atau *part-part* yang sudah rusak, karena *O-ring seal* atau *part-part* yang rusak inilah yang menjadi penyebab kebocoran gas SF<sub>6</sub> tersebut. Pengecekan dan pemeliharaan secara rutin pada PMT dapat mengurangi gangguan dan kerusakan di tiap komponen PMT, sehingga kinerja PMT akan berjalan dengan lancar serta tidak membahayakan peralatan yang lain.

### ***A. Pengertian GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi)***

GISTET adalah sebuah gardu induk masa kini yang menggunakan Gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluoride) sebagai media isolasi, Gas SF<sub>6</sub> ini banyak dipakai pada gardu untuk melayani kebutuhan listrik dimulai pada tahun 1960. Pada awalnya GISTET adalah sebuah konsep dari “ruang yang tertutup” oleh bahan logam pada dimana minyak digunakan sebagai bahan isolasi di dalamnya. Kemudian seiring berjalannya waktu gas digunakan untuk pertama kalinya sebagai media isolasi. Semakin berkembangnya teknologi munculah gas SF<sub>6</sub>, maka digunakannya gas SF<sub>6</sub> ini sebagai media mengisolasi sistem tegangan ekstra tinggi pada GISTET kemudian mulai diperkenalkan ke pasaran pada tahun 1968 sebagai pemadam busur api dan media isolasi [6].

GIS (Gas *Insulated Switchgear*) dan GISTET (Gas *Insulated Switchgear* Tegangan Ekstra Tinggi) adalah gardu induk yang sama sama mengandalkan gas SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi sebagai pemadam busur api. Pengoperasian serta penempatan peralatannya pun sama yaitu di dalam ruangan, namun yang membedakan kedua Gardu Induk tersebut adalah kekuatan tegangan yang dihasilkan. GIS memiliki kekuatan tegangan 150 kV sedangkan GISTET memiliki kekuatan tegangan sebesar 500 kV[1].

Pada Gambar 1 di bawah ini adalah peralatan tenaga listrik yang berada di GISTET. Berbeda dengan gardu induk konvensional, peralatan pada GISTET tidak memakan lahan yang luas serta di tempatkan di dalam ruangan tertutup, dan setiap peralatan tenaga listrik di lindungi oleh beberapa tabung yang berisikan gas SF<sub>6</sub> sebagai media isolasi. Meskipun terlihat aman namun tetap saja harus melakukan pengecekan setiap harinya agar setiap peralatan terjamin baik dan apabila ada kerusakan harus segera di tangani.



Gambar 1 GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi)

#### B. Pengertian Gas SF<sub>6</sub>

Gas SF<sub>6</sub> pada Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi sebagai media pemadam busur api listrik saat terjadi pemutusan pada arus listrik dalam keadaan arus yang berbeban maupun tidak berbeban dan sebagai media isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan yaitu pada kontak tetap dan kontak bergerak pada ruang pemutus. Pada PMT gas SF<sub>6</sub> juga memiliki fungsi sebagai isolasi pada bagian bertegangan maupun yang tidak bertegangan [7]. Saat ini gas SF<sub>6</sub> banyak digunakan pada peralatan GISTET (Gas Insulated Switchgear Tegangan Ekstra Tinggi) pada kekuatan tegangan sebesar 500 kV [1].

Sifat fisik gas SF<sub>6</sub> murni memiliki tekanan absolut = 1 Atm dan temperatur = 200 °C, tidak memiliki warna, tidak berbau dan tidak beracun dengan berat isi 6,139 kg/m<sup>3</sup> dan sifat lainnya adalah mempunyai berat molekul 146,7 g, temperatur kritis 45,550 °C dan bertekanan absolut kritis 3,78 Mpa.

Sifat kimiawi gas SF<sub>6</sub> memiliki kestabilan yang baik, pada *ambient* temperatur terdapat gas netral dan sifat pemanasan yang stabil. Pada temperatur diatas 150°C mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi.

Sifat listrik sebagai isolasi listrik, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi, 2,35 kali kekuatan dielektrik udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah tekanan serta mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat setelah arus busur api listrik melalui titik nol [1].

Standar IEC 376 dengan peruntukan khusus dalam penggunaan gas SF<sub>6</sub> pertama kali digunakan pada kemurnian 99,99% dan terdapat unsur-unsur kandungan lain berupa *Carbon Tetra Fluoride* (CF<sub>4</sub>) yang memiliki konsentrasi sebesar 0,03%, kandungan air 15 ppm, dan kandungan *Hydrogen Fluoride* (HF) sebesar 0,03 ppm. Standar IEC 480 untuk petunjuk pemeriksaan terhadap gas SF<sub>6</sub> pada peralatan listrik. Penguraian unsur dari gas SF<sub>6</sub> dapat terjadi pada saat kontak yang teraliri arus menjadi terbuka, dimana busur api yang timbul bertemperatur lebih besar 500 °C, maka gas SF<sub>6</sub> akan terurai menjadi unsur sulfur, *fluoride*, SF<sub>2</sub> dan unsur SF<sub>4</sub>. Semua unsur tersebut berkombinasi kembali ke temperatur ruang, yang berfungsi sebagai media isolasi dan pemadam busur api pada peralatan listrik, maka diperlukanlah tekanan gas SF<sub>6</sub> pada kisaran 5-6 bar [4].

#### C. Pengertian PMT

*Circuit Breaker* (CB) atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/*switching* mekanis, yang dapat bekerja sebagai penutup, mengalirkan, memutus serta menutup beban dalam kondisi normal, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*short circuit*) [8]. Selain itu PMT mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam waktu periode tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

## II. METODE

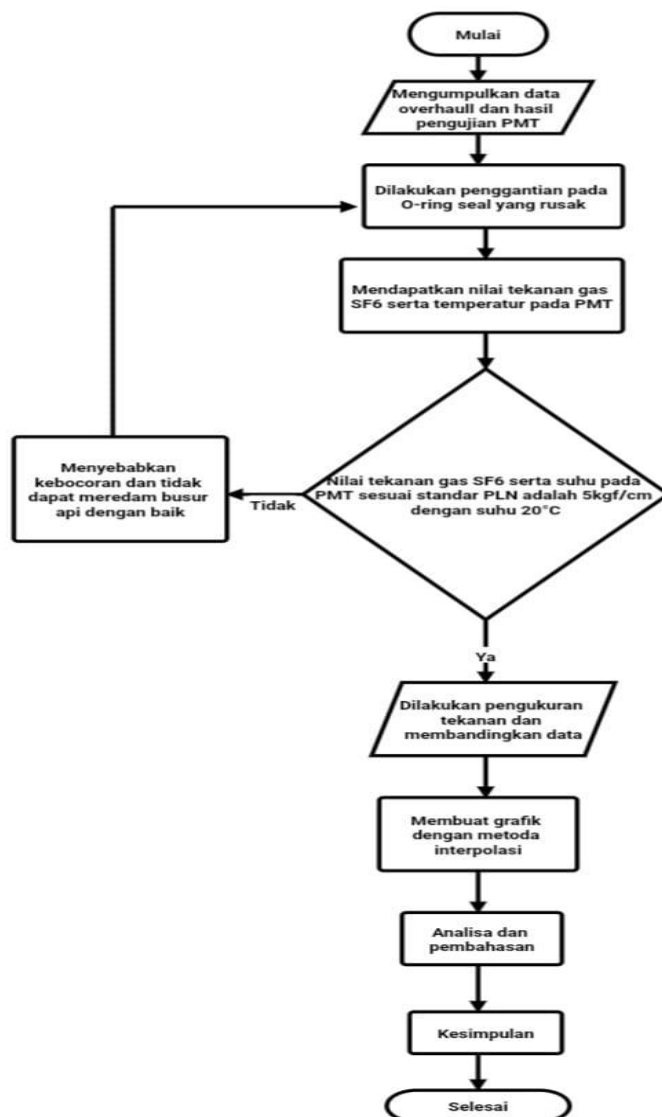
#### A. Diagram Alir Penelitian

Pada GISTET Saguling terdapat gangguan yang sering di alami yaitu kebocoran gas SF<sub>6</sub> yang terjadi pada PMT. PMT yang mengalami kebocoran yaitu 7A1 fasa S, 7A2 fasa S, GM23 fasa R, GM32 fasa S, dan GM22 fasa R, hal ini terjadi karena O-ring seal yang rusak oleh kotoran, goresan serta suhu yang terlalu panas. O-ring seal yang rusak akan menyebabkan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT menurun, sehingga gas SF<sub>6</sub> tidak dapat meredam busur api dengan baik sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada PMT bahkan dapat mengakibatkan kebakaran serta ledakan. Tekanan gas SF<sub>6</sub>

***Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling***  
***(Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28 )***

---

dipengaruhi oleh suhu di dalam PMT, jika suhu dibawah 200C dapat mengakibatkan penurunan nilai tekanan gas SF<sub>6</sub>, sehingga secara periodik dilakukan setiap hari untuk pengecekan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT. Pada diagram alir penelitian nilai tekanan dan suhu gas SF<sub>6</sub> diketahui dari data hasil pengujian Overhaul PMT, apakah nilai-nilai tersebut memenuhi standar atau tidak. Menurut standar PLN yang berlaku, tekanan gas SF<sub>6</sub> dalam keadaan normal bernilai 5 kgf/cm<sup>2</sup> dengan suhu 20 0C dan dalam keadaan tidak normal bernilai 4,6 kgf/cm<sup>2</sup> dengan suhu di bawah 20 0C. Jika tekanan dan suhu gas SF<sub>6</sub> dalam kondisi tidak normal maka PMT akan mengalami kebocoran, hal ini harus segera di atasi agar tidak merusak peralatan yang lainnya, dengan cara penggantian O-ring seal serta pengisian gas SF<sub>6</sub>. Kondisi PMT yang mengalami kebocoran dan keadaan normal perlu di cek tekanannya setiap hari, karena suhu lingkungan yang turun dapat menyebabkan tekanan gas SF<sub>6</sub> juga ikut menurun, maka harus dilakukan pengisian gas SF<sub>6</sub> sampai nilai tekanan mencapai normal kembali. Pastikan anda menggunakan template ini. Dalam penyajian metode dapat dibagi atas sub bagian. Penulisan makalah sebaiknya bukan seperti laporan praktikum. Apabila diperlukan informasi bahan dan alat sebaiknya dituliskan secara implisit.



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Perbandingan nilai tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT sebelum dan sesudah mengalami kebocoran, dibuat grafik hubungan antara tekanan gas dengan tegangan tembus. Grafik tersebut dibuat dengan menggunakan metoda interpolasi, kemudian dilakukan analisa dan pembahasan untuk mendapatkan kesimpulan dari hasil penelitian ini. Metoda interpolasi adalah sebuah metoda untuk mengestimasi

keluaran sebuah fungsi dari dua pasang data sebagai perbandingan, dari metoda tersebut dapat menaksir nilai tengah dari perbandingan saat keadaan sebelum dan setelah *overhaul*.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Setelah diketahui adanya kebocoran gas SF<sub>6</sub> yang terjadi pada PMT GISTET Saguling maka dilakukannya penelitian untuk mengetahui performa pada PMT tersebut. Pada penelitian ini maka akan didapat nilai tahanan isolasi, nilai perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya *Overhaul*, nilai kecepatan busur api, serta nilai arus hubung singkat. Nilai tersebut diperoleh dari beberapa pustaka dan telah disesuaikan dengan metode interpolasi.

#### A. Pengujian Tahanan Isolasi

Nilai *operate* menunjukkan tekanan yang dapat meng ON kan *density switch alarm*, *stage 1* dan *stage 2*, misalkan nilai 4,82 kgf/cm<sup>2</sup> itu berarti nilai pada saat tekanan 5,10 kgf/cm<sup>2</sup> di turunkan sehingga menjadi 4,82 kgf/cm<sup>2</sup> pada nilai tersebut alarm bekerja, dan di turunkan lagi hingga bernilai 4,40 kgf/cm<sup>2</sup> maka pada nilai tersebut *stage 1* dan *stage 2* bekerja. Pada kolom *reset* itu kebalikannya, misal tekanan sudah diturunkan hingga 4,4 kgf/cm<sup>2</sup> maka *sensor density switch alarm*, *stage1* dan *stage 2* sudah dalam keadaan ON.

Tabel 1 Hasil pengujian tekanan gas SF<sub>6</sub>

| Titik Ukur     | Hasil Uji Fungsi               |       |                                |       |                                |       |
|----------------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|                | Phasa R (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | Phasa S (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       | Phasa T (kgf/cm <sup>2</sup> ) |       |
|                | Operate                        | Reset | Operate                        | Reset | Operate                        | Reset |
| <b>Alarm</b>   | 4,82                           | 5,10  | 5,00                           | 5,20  | 4,85                           | 5,20  |
| <b>Stage 1</b> | 4,40                           | 4,80  | 4,40                           | 4,70  | 4,40                           | 4,90  |
| <b>Stage 2</b> | 4,40                           | 4,80  | 4,50                           | 4,70  | 4,40                           | 4,90  |

Pada Tabel 2 di bawah adalah data nilai dari tahanan kontak pada PMT SF<sub>6</sub> pada pengujian tahanan kontak PMT pada GISTET berbeda dengan konvensional, PMT pada GISTET pada pengujian tahanan kontak perlu bantuan PMS tanah untuk menghubungkan alat uji ke kontak PMT, sehingga saat pengujian langsung 3 kontak yg terukur sehingga nilai tahanan kontak akan lebih besar dari standar. Standar PLN bernilai 50uOhm ke bawah, sedangkan hasil uji tersebut sekitar 140uOhm, karena saat pengujian itu langsung mengukur 3 kontak maka 140 masih di anggap normal, karena secara logika 140/3 masih d bawah 50uOhm.

Tabel 2 Hasil Uji Tahanan Kontak

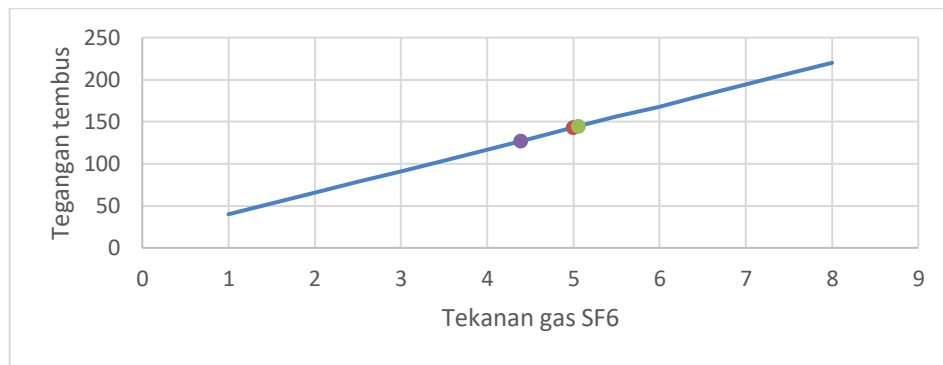
| Titik ukur        | Phasa R,S,T |         |            |         |          |            |         |          |            |
|-------------------|-------------|---------|------------|---------|----------|------------|---------|----------|------------|
|                   | Standar     | Th.lalu | Hasil ukur | Standar | Th. lalu | Hasil ukur | Standar | Th. lalu | Hasil ukur |
| Atas-Bawah PMT ON | <50μΩ       | 126     | 135        | <50μΩ   | 140      | 142        | <50μΩ   | —        | 147        |

Setelah melakukan perhitungan interpolasi maka hasil tegangan tembus dimasukkan pada Tabel 3 di bawah ini

Tabel 3 Perhitungan interpolasi pada masing-masing phasa

| Phasa | Nilai rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Tegangan tembus (kV) |
|-------|----------------------------------------|----------------------|
| R     | 5                                      | 142,85               |
| S     | 5,06                                   | 144,4                |
| T     | 5,1                                    | 145,42               |

Berikut adalah grafik hubungan antara nilai rata-rata pada masing phasa terhadap tegangan tembus. Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa bagaimana perbandingan pada masing-masing phasa dengan tegangan tembus yang mampu di tahan oleh tekanan.



Gambar 3 Grafik interpolasi pada masing-masing fasa

Keterangan :

- Phasa R
- Phasa S
- Phasa T

Pada Tabel 4 di bawah adalah nilai rata-rata pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>. Nilai-nilai tersebut di dapat dengan cara menjumlahkan nilai tekanan pada seluruh kompartemen baik yang mengalami kebocoran maupun tidak, lalu nilai rata-rata tersebut di masukan pada rumus interpolasi agar menghasilkan nilai tegangan tembus pada masing-masing kompartemen.

Tabel 4 Nilai rata-rata pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>

| No | Kompartemen | Tekanan gas SF <sub>6</sub> (kgf/cm <sup>2</sup> ) |         |         | Tekanan rata-rata kompartemen (kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|----|-------------|----------------------------------------------------|---------|---------|------------------------------------------------------|
|    |             | Phasa R                                            | Phasa S | Phasa T |                                                      |
| 1. | GM23        | 4,9                                                | 5,0     | 5,1     | 5                                                    |
| 2. | 7A2         | 5,1                                                | 5,4     | 5,2     | 5,23                                                 |
| 3. | GM32        | 5,1                                                | 5,0     | 5,0     | 5,03                                                 |
| 4. | GM33        | 5,0                                                | 5,0     | 5,2     | 5,06                                                 |
| 5. | 7AB4        | 5,0                                                | 5,1     | 5,0     | 5,03                                                 |
| 6. | 7A1         | 5,0                                                | 5,2     | 5,0     | 5,06                                                 |
| 7. | GM22        | 4,9                                                | 5,1     | 5,1     | 5,03                                                 |

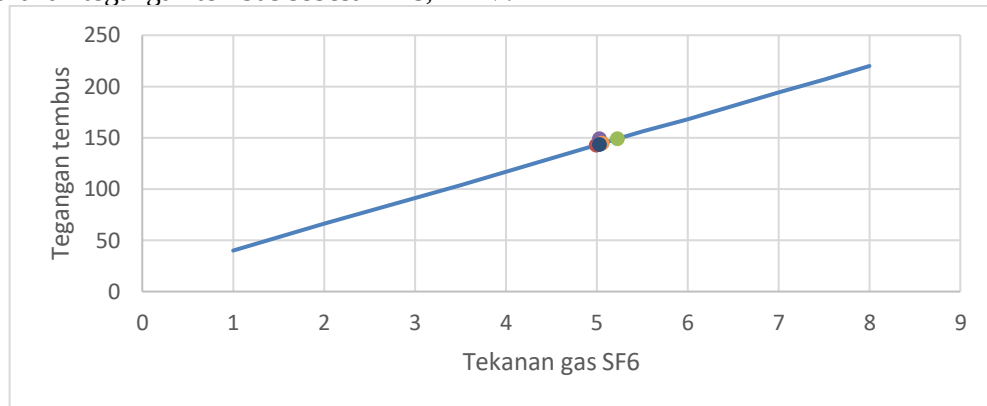
Setelah mendapatkan nilai tekanan rata-rata pada masing-masing fasa, maka selanjutnya nilai tersebut dihitung menggunakan rumus interpolasi untuk mendapatkan nilai tegangan tembus. Pada Tabel 5 adalah hasil perhitungan tegangan tembus menggunakan rumus interpolasi.

Tabel 5 Perhitungan interpolasi pada masing-masing kompartemen

| Kompartemen | Nilai rata-rata (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Tegangan tembus (kV) |
|-------------|----------------------------------------|----------------------|
| GM23        | 5                                      | 142,85               |
| 7A2         | 5,23                                   | 148,77               |
| GM32        | 5,03                                   | 143,62               |
| GM33        | 5,06                                   | 144,4                |
| 7A1         | 5,06                                   | 144,4                |
| GM22        | 5,03                                   | 143,62               |

Setelah mendapatkan nilai tegangan tembus pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub> maka dapat dibuat grafik hubungan antara tekanan pada masing-masing kompartemen setelah pengisian gas SF<sub>6</sub> terhadap tegangan tembus seperti Grafik 4 di bawah ini. Pada grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa tekanan gas paling kecil terletak paling bawah, pada titik tersebut merupakan kompartemen GM23 terbukti pada kompartemen tersebut hanya memiliki tekanan rata-rata sebesar 5 kgf/cm<sup>2</sup> sehingga pada tekanan tersebut hanya mampu menahan tegangan tembus yang bernilai kecil yaitu hanya sebesar 142,85 kV. Untuk tekanan paling besar terletak paling tinggi pada grafik tersebut,

titik tersebut merupakan kompartemen 7A2 dengan nilai rata-rata tekanan sebesar 5,23 kgf/cm<sup>2</sup> yang dapat menahan tegangan tembus sebesar 148,77 kV.



Gambar 4 Grafik interpolasi pada masing-masing kompartemen

Pada Tabel 6 di bawah adalah data tekanan gas  $SF_6$  pada PMT yang mengalami kebocoran sebelum dan sesudah pengisian gas  $SF_6$  beserta waktu pengisian dan keterangannya. Tekanan gas yang mengalami penurunan menandakan bahwa gas  $SF_6$  sedang mengalami kebocoran sehingga tekanan gas berkurang, hal ini harus segera ditangani dengan cara pengisian gas  $SF_6$  kembali serta mengganti komponen-komponen pada PMT yang rusak agar pada saat pemutusan busur api dapat teredam dengan baik. Pada tekanan alarm sekitar 4.8kgf/cm<sup>2</sup> dianggap sudah perlu diisi kembali gas  $SF_6$ , pada tekanan 4,6 kgf/cm<sup>2</sup> adalah kondisi dimana tekanan sudah dianggap sangat kurang dan akan sangat berbahaya apabila PMT tetap dioperasikan maka pengisian gas  $SF_6$  harus segera dilakukan serta mengecek dan mengganti apabila ada komponen PMT yang rusak. Pengecekan tekanan gas dilakukan setiap hari.

Tabel 6 Tekanan gas sebelum dan sesudah pengisian pada PMT yang mengalami kebocoran

| Jam Server            | Tanggal   | Kompartemen | Fasa | Tek. Sebelum (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Tek. Sesudah (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Keterangan                                         |
|-----------------------|-----------|-------------|------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 4/2/2021<br>09.48.45  | 4/2/2021  | GM23        | R    | 4,1                                 | 4,9                                 | Sudah diisi                                        |
| 6/2/2021<br>23.14.55  | 5/2/2021  | 7A2         | S    | 4,9                                 | 5                                   | Pengisian di sore hari                             |
| 28/2/2021<br>11.43.09 | 28/2/2021 | 7A2         | S    | 4,85                                | 5,4                                 | Sudah diisi                                        |
| 4/3/2021<br>11.38.04  | 4/3/2021  | GM23        | R    | 4,3                                 | 4,9                                 | Sudah diisi                                        |
| 8/3/2021<br>15.42.22  | 8/3/2021  | GM32        | S    | 4,2                                 | 4,9                                 | Sudah diisi                                        |
| 30/3/2021<br>13.33.38 | 30/3/2021 | 7A1         | S    | 4,78                                | 5,18                                | Mengatasi gangguan PMT 7A1 fasa S (Pengisian gas)  |
| 6/4/2021<br>11.23.44  | 6/4/2021  | GM23        | R    | 4,15                                | 4,7                                 | Mengatasi gangguan PMT GM23 Fasa R (Pengisian gas) |
| 15/4/2021<br>11.02.18 | 15/4/2021 | 7A2         | S    | 4,9                                 | 5,2                                 | Antisipasi gangguan PMT 7A2 fasa S                 |
| 6/5/2021<br>10.57.50  | 6/5/2021  | 7A2         | S    | 4,9                                 | 5,4                                 | Antisipasi gangguan PMT 7A2 fasa S                 |
| 8/7/2021<br>17.35.41  | 8/7/2021  | GM32        | S    | 4,35                                | 5                                   | Antisipasi gangguan PMT GM32 fasa S                |
| 28/7/2021<br>11.31.12 | 28/7/2021 | GM22        | R    | 4,3                                 | 4,9                                 | Antisipasi alarm                                   |

**Analisis Kebocoran Gas SF<sub>6</sub> Terhadap Kecepatan Busur Api dan Tegangan Tembus pada PMT di GISTET Saguling**  
**(Naftalin Winanti, Een Taryana, Gina Nur Sa'adah: Halaman 20-28)**

**B. Analisa Kecepatan Busur Api pada Gas SF<sub>6</sub>**

Untuk mengetahui kecepatan busur api pada gas SF<sub>6</sub> bertekanan dapat dilakukan dengan langkah berikut : Berdasarkan data kecepatan busur api berhubungan dengan tekanannya, GISTET Saguling memiliki tekanan nominal 510 kPa yang didapatkan dari  $5.2 \text{ kgf/cm}^2 \times 98,0665$ , namun pada saat terjadi kebocoran gas maka tekanan otomatis akan menurun pada kasus kebocoran pmt GISTET Saguling tekanan menurun menjadi 480 kPa yang nilainya didapatkan dengan cara  $4,1 \text{ kgf/cm}^2 \times 98,0665 = 402 \text{ kPa}$  Sedangkan penurunan kecepatan busur api adalah 0,2 cm/s kA kPa.

Setelah melakukan perhitungan penurunan kecepatan busur api sebelum pengisian gas dan setelah pengisian gas seperti rumus di atas, maka hasil dari perhitungan pada seluruh kompartemen dapat di lihat pada Tabel 7 dan 8 di bawah ini.

Tabel 7 Hasil perhitungan penurunan kecepatan busur api sebelum pengisian gas SF<sub>6</sub>

| No | Kompartemen | Phasa | Nilai tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Perubahan tekanan (kPa) | Faktor penurunan kecepatan busur api (cm/s kA) | Penurunan kecepatan busur api terhadap tekanan (cm/s kA) |
|----|-------------|-------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. | GM23        | R     | 4,1                                  | 108                     | 21,6                                           | 62,4                                                     |
| 2. | 7A2         | S     | 4,9                                  | 30                      | 6                                              | 78                                                       |
| 3. | GM32        | S     | 4,35                                 | 84                      | 16,8                                           | 67,2                                                     |
| 4. | GM33        | S     | 4,2                                  | 99                      | 19,8                                           | 64,2                                                     |
| 5. | 7A1         | S     | 4,8                                  | 40                      | 8                                              | 76                                                       |
| 6. | GM22        | R     | 4,3                                  | 89                      | 17,8                                           | 66,2                                                     |

Tabel 8 Hasil perhitungan penurunan kecepatan busur api setelah pengisian gas SF<sub>6</sub>

| No | Kompartemen | Phasa | Nilai tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Perubahan tekanan (kPa) | Faktor penurunan kecepatan busur api (cm/s kA) | Penurunan kecepatan busur api terhadap tekanan (cm/s kA) |
|----|-------------|-------|--------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. | GM23        | R     | 4,9                                  | 30                      | 6                                              | 78                                                       |
| 2. | 7A2         | S     | 5,4                                  | -19                     | -3,8                                           | 87,8                                                     |
| 3. | GM32        | S     | 5,0                                  | 20                      | 4                                              | 80                                                       |
| 4. | GM33        | S     | 5,0                                  | 20                      | 4                                              | 80                                                       |
| 5. | 7A1         | S     | 5,2                                  | 1                       | 0,2                                            | 83,8                                                     |
| 6. | GM22        | R     | 4,9                                  | 30                      | 6                                              | 78                                                       |

#### IV. KESIMPULAN

Pada PMT SF<sub>6</sub> di GISTET Saguling terdapat phasa yang sering mengalami kebocoran, yaitu phasa S sedangkan phasa yang tidak mengalami kebocoran adalah phasa T. Pada kompartemen yang sering mengalami kebocoran adalah GM23, 7A2, GM32, GM33, 7A2 dan GM22, sedangkan pada kompartemen yang tidak mengalami kebocoran adalah 7AB4.

Dampak yang terjadi pada kebocoran gas SF<sub>6</sub> pada PMT yaitu tidak dapat meredam busur api dengan baik sehingga dapat merusak PMT bahkan peralatan yang lainnya, dan apabila busur api yang dihasilkan besar maka akan mengakibatkan ledakan dan kebakaran pada peralatan.

Penurunan tekanan gas SF<sub>6</sub> pada PMT berpengaruh pada kecepatan busur api yang di hasilkan. Pada tekanan gas SF<sub>6</sub> yang belum dilakukan pengisian maka kecepatan busur api menjadi kecil sehingga busur api akan melambat sehingga busur api akan lama untuk diredam oleh tekanan gas SF<sub>6</sub>, hal tersebut dapat membahayakan peralatan bahkan dapat menimbulkan kebakaran dan ledakan. Sedangkan pada PMT yang telah dilakukan pengisian gas SF<sub>6</sub> nilai tekanannya akan naik sehingga penurunan kecepatan busur apinyapun akan lebih tinggi sehingga busur api akan cepat untuk di redam oleh gas SF<sub>6</sub>.

Hubungan antara tekanan gas dengan tegangan tembus dapat dilihat dengan menggunakan metode interpolasi sehingga dapat dilihat bagaimana letak titik tertinggi dan terendah pada masing-masing kompartemen dan masing-masing phasa. Pada PMT yang memiliki tekanan gas yang rendah terdapat pada PMT kompartemen GM23 phasa R dengan nilai tekanan sebelum pengisian gas sebesar 4,1 kgf/cm<sup>2</sup> dan setelah pengisian bernilai 4,9 kgf/cm<sup>2</sup>, pada kompartemen tersebut terletak pada titik grafik paling bawah dan hanya mampu menahan tegangan tembus yang bernilai rendah sebesar 119,71 kV pada saat sebelum pengisian gas dan 140,28 kV setelah pengisian gas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iman Setiono, " Gas SF<sub>6</sub> (Sulfur Hexafluorida) Sebagai Pemadam Busur Api Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Saluran Transmisi Tegangan Tinggi " Juni 2017 Vol.13 (12) :1-6
- [2] PT. PLN (Persero),"Buku Pedoman Pemeliharaan Gas Insulated (GIS)" p.83, 2014.
- [3] Yulistiawan, Bachtiar Hasan, Hasbuloh,"Analisis Penggunaan Gas SF<sub>6</sub> Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Cigereleng" Vol, No.2 (2012)
- [4] Arif Georitno, Syofyan Rasiman, Zaky Komara,"Kinerja Pemutus Tennaga Tegangan Tinggi Bermedia Gas SF<sub>6</sub> Berdasarkan Sejumlah Parameter Diri" EECCIS Vol 12, No.2 Oktober 2018.
- [5] S. Robaga, A. Setyo, I. Samsu, dan E. Al,"Buku Pedoman Pemeliharaan Pemutus Tenaga" PT.PLN, pp. 1-61, 2009.
- [6] Royden Zulfai Hutapea,"Condition Assesment Gas SF<sub>6</sub> GIS 150 kV Glugur Medan" Desember 2012.
- [7] Rizma Kharizmawati,"SPLN 1.1995 Tegangan Standar" 31 Maret 2017.
- [8] Didik Aribowo,"Analisis Hasil Uji PMT 150 kV Pada Gardu Induk Cilegon Baru BAY KS 1" 15 Agustus 2019.
- [9] Alfianto Rico,"Evaluasi Penggunaan Pemutus Tenaga (PMT) Pada Gardu Induk Sungai Juaro Palembang" 2015.
- [10] Hendrayani Yani, Lia Novitasari, Rahmat Triadmojo, Mailina, M. Mahwari,"Gas Circuit Breaker (GCB) Dengan Media Gas SF<sub>6</sub>" 2 Oktober 2014.
- [11] Jhony,"Pengaruh Busur Api Terhadap Kekuatan Dielektrik Gas SF<sub>6</sub>" 2011.

## **Analisis Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik dari Kaset Kaki dengan Metode *Energy Harvesting***

Ni Ketut H.D <sup>1\*)</sup>, Septia Rifaldi <sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>\*)</sup>Korespondensi: [niketuthd@lecture.unjani.ac.id](mailto:niketuthd@lecture.unjani.ac.id)

### **Abstrak**

Energi merupakan sesuatu yang kekal, tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat berubah dari satu bentuk energi ke satu bentuk energi yang lain. Sebagai alternatif dari keterbatasan energi fosil, manusia mencoba menciptakan alat pemanen energi (*energy harvesting*). Salah satu contohnya dengan memanfaatkan energi kinetik dari gerakan kaki. Komponen yang mampu mengubah energi kinetik menjadi energi listrik adalah piezoelektrik. Oleh karena itu, penulis merancang kaset kaki pemanen energi menggunakan piezoelektrik dengan memanfaatkan energi kinetik dari kaki. Karena energi listrik yang dihasilkan satu keping piezoelektrik sangat kecil, maka dibutuhkan banyak keping piezoelektrik agar hasil yang diinginkan bisa tercapai. Energi listrik hasil dari rangkaian piezoelektrik akan dipanen dan disimpan oleh baterai lithium ion 3,7 Vdc dengan kapasitas 3000 mAh. Pada penelitian kali ini didapatkan hasil melalui sepuluh kali percobaan yang dilakukan terhadap tiga orang dengan bobot berat badan yang berbeda, yaitu 59kg, 61kg dan 65kg. Pengujian terhadap orang dengan bobot berat badan 59kg menghasilkan tegangan sebesar 1,907 V, untuk orang dengan bobot berat badan 61kg menghasilkan tegangan sebesar 2,138 V dan untuk orang dengan bobot berat badan 65kg menghasilkan tegangan 2,238 V, dengan total rata-rata tegangan yang dihasilkan adalah 2,094 V. Dengan kata lain, hal ini menandakan bahwa semakin besar tekanan yang diberikan terhadap piezoelektrik, maka akan semakin besar juga tegangan yang dihasilkan dan dibutuhkan 82,840 x 10<sup>6</sup> kali tekanan terhadap kaset kaki tersebut.

**Kata kunci :** Baterai, Energi Kinetik, *Energy harvesting*, Kaset Kaki, Piezoelektrik

### **Abstract**

*Energy is eternal, cannot be created or destroyed, energy can only change from one form of energy to another. As an alternative to fossil fuel limitations, humans are trying to create energy harvesting tools. One example is harnessing the kinetic energy of foot movement. The component capable of converting kinetic energy into electrical energy is piezoelectric. Therefore, the authors designed an energy harvester's foot doormat using piezoelectric by utilizing the kinetic energy of the foot. Because the electrical energy generated by one piezoelectric piece is very small, it takes a lot of piezoelectric pieces for the desired result to be achieved. Electrical energy resulting from the piezoelectric circuit will be harvested and stored by a 3,7 Vdc lithium ion battery with a capacity of 3000 mAh. In this study, we obtained results through ten experiments conducted on three people with different weight, namely 59kg, 61kg and 65kg. Testing of people weighing 59 produced a voltage of 1,907 V, for people weighing 61kg produces a voltage of 2,138 V and for people weighing 65kg produces a voltage of 2,238 V, with the average total voltage produced being 2,094 V. in other words, this indicates that the greater the pressure given to piezoelectric, the greater the voltage produced and it takes 82,840 x 10<sup>6</sup> times the pressure on the footmat.*

**Keywords :** Battery, Kinetic Energy, *Energy harvesting*, Foot Movement, Piezoelectric

## **I. PENDAHULUAN**

Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia dan merupakan sesuatu yang kekal. Mengacu pada hukum kekekalan energi dan hukum pertama termodinamika yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, energi hanya dapat berubah dari satu bentuk energi ke bentuk energi lainnya [1].

Sebagai alternatif dari keterbatasan energi fosil, manusia mencoba untuk menciptakan beberapa alat pemanen energi (*energy harvesting*). *Energy harvesting* adalah proses di mana energi berasal dari sumber eksternal gradients, energi bunyi, energi potensial, dan energi kinetik, ditangkap dan dikonversikan menjadi energi listrik [2].

Energi baru dan terbarukan memiliki peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi, hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan bakar untuk pembangkit-pembangkit listrik konvensional dalam jangka waktu yang panjang akan menguras sumber minyak bumi, gas dan batu bara yang semakin menipis dan juga dapat mengakibatkan pencemaran lingkungan. Manusia pun bergantung pada penggunaan bahan bakar sebagai pembangkit listrik untuk menjalankan aktivitas sehari-hari. Penggunaan bahan energi listrik yang tidak bijak dapat membuat pemborosan bahan bakar [3].

Data kementerian ESDM mencatat konsumsi energi Indonesia pada 2017 mencapai 1,23 miliar Barrels Oil Equivalent (BOE) naik 9% dari tahun sebelumnya. Dari jumlah tersebut yang berbentuk BBM mencapai 356,33 juta BOE atau 28,88% dari total konsumsi. Kemudian terbesar kedua adalah dalam bentuk biomassa sebanyak 306,25 juta BOE atau 24,82%. Sedangkan konsumsi biofuel baru mencapai 79,43 juta BOE atau 6,44% dari total. Sementara berdasarkan peruntukannya, energi nasional terbesar digunakan untuk keperluan rumah tangga, yaitu mencapai 382,94 juta BOE atau 31% dari total. Kemudian terbesar kedua untuk sektor transportasi 361,7 juta BOE atau sekitar 29,31% dan ketiga untuk industri sebesar 273,86 juta BOE atau 22,19% dari total konsumsi energi nasional [4].

Beberapa sumber energi terbarukan yang diproduksi dengan skala besar diantaranya sumber energi tenaga angin, sumber energi tenaga air, sumber energi tenaga surya (matahari), sumber energi ombak, sedangkan sumber energi terbarukan dengan skala yang kecil salah satunya adalah piezoelektrik [5]. Piezoelektrik merupakan salah satu energi terbarukan yang saat ini sedang dikembangkan penggunaannya. Saat ini penggunaan piezoelektrik coba dikembangkan karena piezoelektrik dapat menghasilkan sendiri tegangannya dan tidak perlu memerlukan tegangan tambahan lagi ataupun tegangan bantuan lagi. Dengan diberikan energi dari gaya mekanik, piezoelektrik dapat menghasilkan tegangan listrik [6].

Penggunaan dan pengembangan piezoelektrik sebagai energi terbarukan sudah dicoba di beberapa pengaplikasian yang diantaranya piezoelektrik diaplikasikan pada alas sepatu, piezoelektrik diaplikasikan pada lantai rumah atau pada jalan, dan pengaplikasian piezoelektrik pada polisi tidur [7]. Dengan beberapa pengembangan yang sudah dilakukan pada piezoelektrik, penulis mencoba merancang pembangkit listrik memanfaatkan energi kinetik dan energi mekanik dari keset kaki.

Berdasarkan latar belakang diatas maka penulis mencoba menganalisis potensi energi listrik yang dihasilkan dari sumber energi alternatif piezoelektrik dengan menggunakan metode *energy harvesting* agar output daya yang dihasilkan piezoelektrik bisa digunakan secara optimal. Perancangan sumber energi alternatif dari piezoelektrik diimplementasikan kepada keset kaki yang diletakkan di pusat keramaian.

Harapannya penelitian ini mampu menjadikan piezoelektrik sebagai sumber energi alternatif yang terbarukan dan dapat mengurangi penggunaan energi konvensional. Penulis juga berharap penelitian ini dapat dimanfaatkan serta diimplementasikan dalam kehidupan kita sehari-hari dan mengubah kebiasaan masyarakat akan ketergantungan listrik konvensional.

## **II. METODE**

### **A. Diagram Blok Sistem**

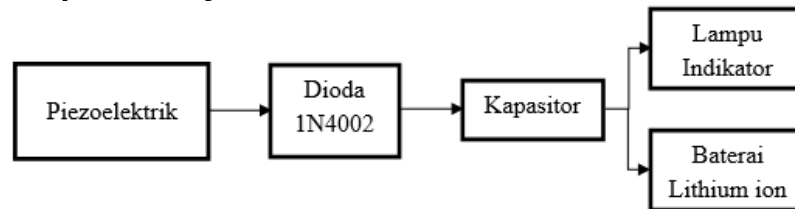
Skema rancang bangun prototipe alat pembangkit listrik menggunakan piezoelektrik dapat dilihat pada Gambar 1. Di mana input dari alat ini merupakan piezoelektrik, yang menghasilkan listrik dengan cara mendapatkan energi kinetik dari tekanan kaki saat menginjak. Saat piezoelektrik mendapatkan energi kinetik, piezoelektrik menghasilkan tegangan AC (*Alternating Current*). Agar tegangan listrik dapat

***Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Kaset Kaki Dengan Metode Energy Harvesting***  
***(Ni Ketut H.D, Septia Rifaldi: Halaman 29-40)***

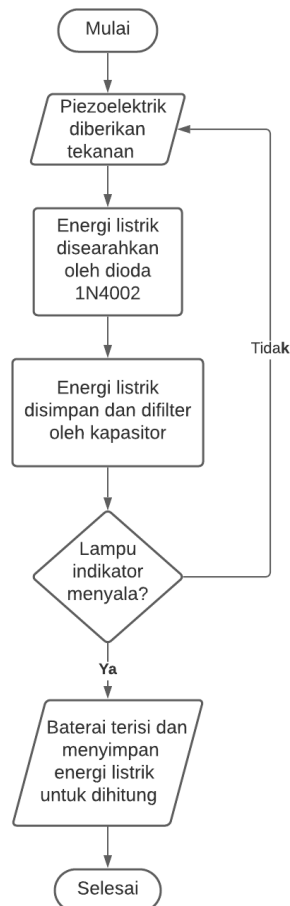
---

digunakan untuk menyalakan lampu dan lain-lain, maka rangkaian piezoelektrik dihubungkan dengan sistem penyearah.

Sistem penyearah tersebut mengubah tegangan AC menjadi DC. Tegangan yang dihasilkan dapat disimpan pada baterai dengan sistem charging. Tegangan yang telah terkumpul pada baterai, dapat digunakan untuk menyalakan lampu dan lain- lain.



Gambar 1 Diagram blok sistem



Gambar 2 Flowchart penelitian.

Dapat dilihat pada Gambar 2 *flowchart* sistem yang sudah dibuat dapat menggambarkan bagaimana cara kerja dari suatu sistem. Cara kerja dari sistem diatas adalah ketika piezoelektrik diberikan tekanan atau mendapat tekanan dari energi kinetik yang dihasilkan dari pijakan kaki, maka piezoelektrik akan menghasilkan energi listrik. Lalu energi listrik yang dihasilkan tadi masuk ke dalam rangkaian penyearah di mana rangkaian penyearah ini terdiri dari dioda 1N4002, untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Setelah disearahkan oleh rangkaian dioda energi listrik akan disimpan sementara oleh kapasitor dan akan dihaluskan sebelum masuk ke baterai untuk dipanen energi listriknya. Untuk memberi tanda bahwa ada energi listrik yang dihasilkan oleh rangkaian piezoelektrik, maka ditambahkan lampu indikator. Ketika lampu indikator menyala, itu menandakan bahwa baterai terisi oleh energi listrik. Namun ketika lampu tidak menyala, dapat diartikan bahwa tidak ada energi listrik yang mengalir atau yang dihasilkan oleh rangkaian piezoelektrik.

### B. Pengukuran Dioda

Pada perancangan prototipe alat pembangkit listrik ini menggunakan dioda 1 Ampere tipe 1N4002. Tujuan dari penggunaan dioda ini adalah untuk menyearahkan energi listrik yang dihasilkan dari piezoelektrik dari sistem mekanik yang sudah dibuat yaitu keset kaki piezoelektrik. Pengukuran dilakukan langsung menggunakan multimeter. Perhitungan dilakukan untuk mengukur resistansi atau tahanan dari dioda.

Pengukuran dengan multimeter dilakukan dengan cara menempatkan *probe* merah pada multimeter diletakkan pada kaki (+) atau anoda dari dioda, sedangkan *probe* hitam pada multimeter diletakkan pada kaki (-) atau katoda dari dioda.

### C. Pengukuran Baterai

Pada perancangan prototipe alat pembangkit listrik ini menggunakan baterai lithium ion dengan tegangan 3,7 Vdc dan daya kapasitas baterai 3 Ah. Perangkaian baterai dilakukan secara paralel, hal ini dilakukan agar daya tampung baterai lebih besar. Penggunaan baterai yaitu dengan tujuan menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari piezoelektrik, dengan metode *energy harvesting* energi listrik yang dihasilkan dari piezoelektrik sedikit-demi sedikit disearahkan oleh dioda dan kemudian ditampung oleh baterai, yang nantinya akan dipanen atau digunakan untuk hal-hal yang memerlukan energi listrik dari baterai.

Pada pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui tegangan dan arus awal baterai sebelum mendapatkan suplai energi listrik dari piezoelektrik. Pengukuran dilakukan langsung dengan menggunakan multimeter. Pengukuran dengan multimeter dilakukan dengan cara menempatkan *probe* merah pada multimeter diletakkan pada (+) baterai dan menempatkan *probe* hitam pada multimeter diletakkan pada (-) baterai.

### D. Rangkaian Piezoelektrik

Piezoelektrik dihubungkan secara paralel untuk meningkatkan energi yang dihasilkan. Piezoelektrik yang dirangkai paralel menghasilkan arus yang tetap dengan tegangan yang bertambah. Jumlah total tegangan yang dihasilkan pada rangkaian piezoelektrik yang terhubung paralel adalah sama dengan penjumlahan total tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing piezoelektrik. Sementara, arus total sama dengan masing-masing piezoelektrik [8].



Gambar 3 Rangkaian piezoelektrik paralel

$$V_{total} = V_1 = V_2 = V_3 \quad (1)$$

Dan,

$$I_{total} = I_1 + I_2 + I_3 \quad (2)$$

Di mana  $V_1$ ,  $V_2$  dan  $V_3$  adalah tegangan yang dihasilkan dari rangkaian piezoelektrik, dan tegangannya akan sama dengan satu keping piezoelektrik. Sedangkan untuk  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$  adalah arus total yang



dihasilkan dari seluruh rangkaian piezoelektrik, di mana arusnya merupakan jumlah dari seluruh arus yang dihasilkan dari satu keping piezoelektrik.

Gambar 4 Rangkaian piezoelektrik seri

$$V_{total} = V_1 + V_2 + V_3 \quad (3)$$

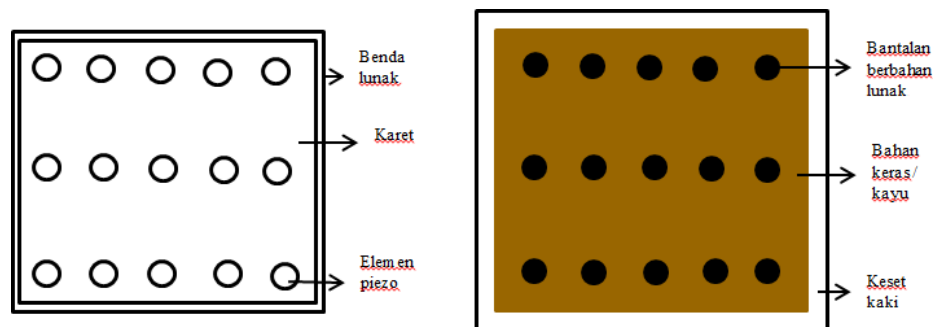
dan,

$$I_{total} = I_1 = I_2 = I_3 \quad (4)$$

Di mana  $V_1$ ,  $V_2$  dan  $V_3$  adalah tegangan yang dihasilkan dari rangkaian piezoelektrik, dan tegangannya akan menjadi lebih besar ketika dihubungkan secara seri. Sedangkan  $I_1$ ,  $I_2$  dan  $I_3$  adalah arus yang dihasilkan dari rangkaian piezoelektrik, dan arusnya akan sama seperti satu buah keping piezoelektrik.

#### E. Perancangan Desain Kaset Kaki Piezoelektrik

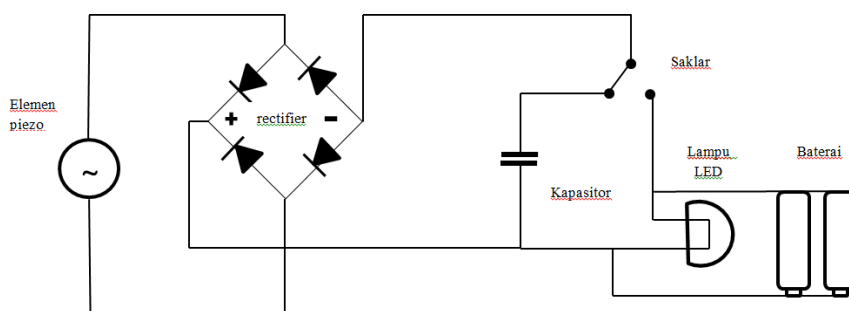
Desain kaset kaki terbuat dari karet dan busa sebagai alas dan penopang piezoelektrik. Sedangkan untuk bagian pijakan kaki terbuat dari kaset kaki dan benda berbahan keras, yang diberikan bantalan agar tekanan terhadap piezoelektrik lebih optimal.



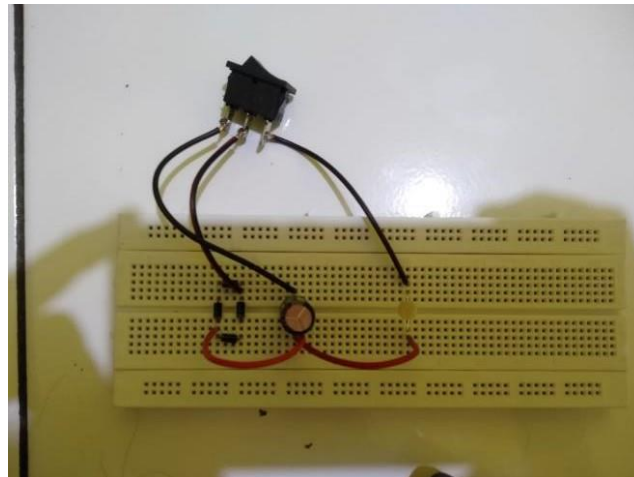
Gambar 5 Perancangan desain kaset kaki piezoelektrik

#### F. Perancangan Rangkaian Penyearah

Pada Gambar 6 dan 7 menunjukkan rangkaian penyearah tegangan, rangkaian ini bertujuan untuk mengubah tegangan AC dari piezoelektrik menjadi tegangan DC. Rangkaian diatas merupakan salah satu metode *energy harvesting*, ketika piezoelektrik mendapat tekanan dari energi kinetik tegangan langsung menuju ke rangkaian dioda untuk disearahkan, kemudian disimpan untuk sementara dan dihaluskan oleh kapasitor sebelum masuk ke baterai. Tegangan yang sudah masuk ke baterai akan disimpan sedikit demi sedikit, yang tentunya akan tersimpan permanen dalam baterai.



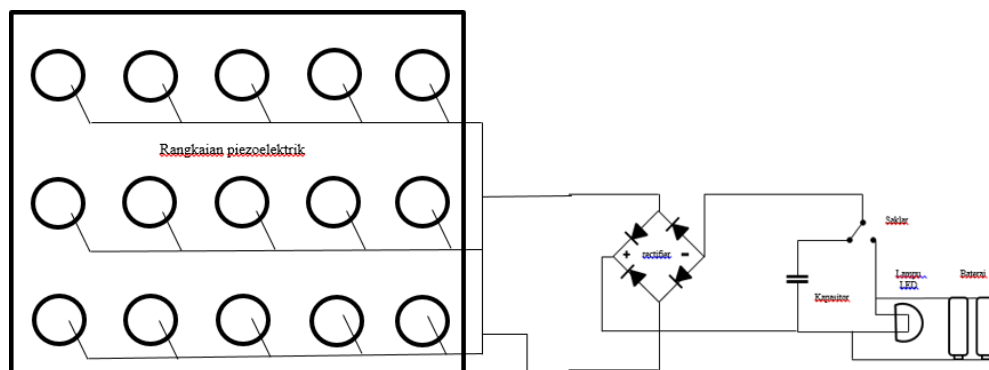
Gambar 6 Perancangan rangkaian penyearah



Gambar 7 Rangkaian penyearah

#### G. Rangkaian Skematik Sistem

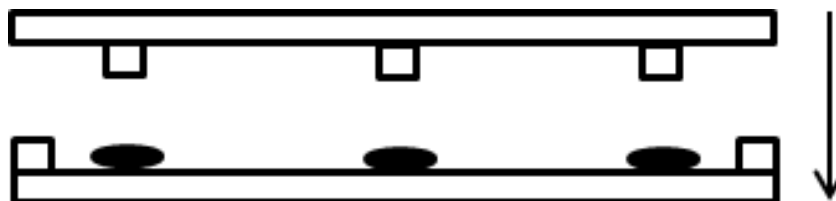
Pada Gambar 8 ini menunjukkan rangkaian skematik sistem yang menjelaskan mulai dari *input*, proses dan *output*. Mulai dari *input* yang merupakan rangkaian piezoelektrik yang dipasang secara paralel pada baris pertama, kedua dan ketiga dan output dari baris tersebut dihubungkan secara seri. Lalu energi listrik hasil dari rangkaian piezoelektrik masuk ke dalam rangkaian penyearah dan energi listrik akan tersimpan sementara di dalam kapasitor tahapan ini merupakan sebuah proses. Dan terakhir merupakan *output* di mana ditandai dengan lampu menyala dan baterai terisi dengan tegangan.



Gambar 8 Rangkaian skematik sistem

#### H. Cara Kerja Kaset Kaki Piezoelektrik

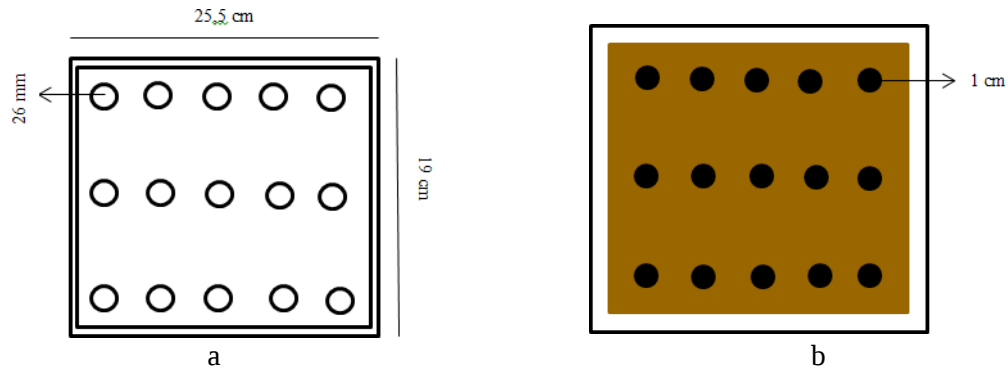
Cara kerja sistem kaset kaki piezoelektrik adalah dengan memberikan energi kinetik terhadap bagian atas dari kaset kaki. Bagian atas kaset kaki diberikan bantalan dengan ketebalan 1cm, agar dapat memberikan tekanan yang lebih optimal terhadap rangkaian piezoelektrik.



Gambar 9 Cara kerja sistem kaset kaki piezoelektrik

### I. Spesifikasi Kaset Kaki Piezoelektrik

Pada Gambar 10 menunjukkan spesifikasi kaset kaki piezoelektrik yang akan digunakan pada rancang bangun prototipe alat pembangkit listrik. Pada perancangan sistem kaset kaki piezoelektrik penulis menggunakan kaset kaki berbahan karet, alas piezoelektrik berbahan elastis berukuran 25,5 cm x 19 cm, piezoelektrik dengan diameter 26 mm, dan papan triplek sebagai pijakan kaki. Benda berbahan elastis ini digunakan untuk menempatkan rangkaian piezoelektrik agar mendapat tekanan untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 10 Spesifikasi kaset kaki piezoelektrik (a) bagian bawah dan (b) bagian atas

## III. HASIL DAN DISKUSI

Pengujian rancang bangun prototipe alat pembangkit listrik menggunakan piezoelektrik memanfaatkan energi kinetik dari kaset kaki dengan metode *energy harvesting*. Pengujian dan analisis bertujuan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai dengan fungsinya. Analisis dilakukan terhadap hasil yang ditujukan selama pengujian.

### A. Hasil Pengujian Piezoelektrik

Pada Gambar 10 menunjukkan sistem kaset kaki piezoelektrik yang akan digunakan sebagai prototipe alat pembangkit listrik. Seperti yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya mengenai spesifikasi kaset kaki piezoelektrik, kali ini merupakan realisasi dari perancangan dan spesifikasi dari kaset kaki piezoelektrik.



Gambar 11 Kaset kaki piezoelektrik

**B. Hasil Pengujian Satu Keping Piezoelektrik**

Sebelum melakukan pengujian terhadap sistem keset kaki piezoelektrik, pengujian dilakukan terhadap satu keping piezoelektrik, untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan satu keping piezoelektrik. Pengujian dilakukan langsung terhadap satu keping piezoelektrik dengan menggunakan multimeter, didapat hasil pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil pengujian satu keping piezoelektrik

| Pengujian ke- | Tegangan |
|---------------|----------|
| 1             | 0,022 V  |
| 2             | 0,014 V  |
| 3             | 0,015 V  |
| 4             | 0,019 V  |
| 5             | 0,031 V  |

Dapat dilihat pada Tabel 1 bahwa satu keping piezoelektrik mampu menghasilkan energi listrik mulai dari 0,014 V sampai 0,031 V. Perbedaan tegangan keluaran ini dipengaruhi dari kekuatan dan kecepatan intensitas tekanan terhadap satu keping piezoelektrik.

**C. Hasil Pengujian Sistem Keset Kaki Piezoelektrik**

Pengujian sistem keset kaki piezoelektrik dilakukan untuk mengetahui energi listrik yang mampu dihasilkan oleh piezoelektrik. Pengujian dari sistem keset kaki piezoelektrik yang dilakukan yaitu dengan menguji sistem mekanik dan kemampuan piezoelektrik untuk menghasilkan tegangan. Pengujian prototipe ini dilakukan dengan memberikan tekanan langsung terhadap keset kaki piezoelektrik.

Pengujian dilakukan terhadap tiga orang yang memiliki berat badan 59 kg, 61 kg dan 65 kg. Dengan cara menginjak bagian atas dari keset kaki dan melangkahkan kaki sebanyak sepuluh kali di atas keset kaki. Dengan hasil pengujian terhadap tekanan yang diberikan kepada keset kaki piezoelektrik, maka didapatkan tegangan yang bervariasi. Berdasarkan hasil pengujian dapat dihitung nilai rata-ratanya seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Pengujian dengan tiga orang yang memiliki berat badan berbeda hasil keluaran dari rangkaian piezoelektrik

| Berat badan | Tegangan hasil dari tekanan ke- |         |         |         |         | Rata-rata |
|-------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|             | 2                               | 4       | 6       | 8       | 10      |           |
| 59 kg       | 2,192 V                         | 2,348 V | 2,964 V | 3,558 V | 3,936 V | 2,999 V   |
| 61 kg       | 2,419 V                         | 2,585 V | 2,970 V | 3,083 V | 4,020 V | 3,015 V   |
| 65 kg       | 2,983 V                         | 3,421 V | 3,527 V | 3,650 V | 4,294 V | 3,575 V   |

Setelah melakukan pengujian langsung terhadap rangkaian piezoelektrik tanpa melewati rangkaian penyearah, maka didapatkan hasil tegangan yang bervariasi. Tegangan hasil dari berat badan 59 kg adalah 2,999 V, untuk berat badan 61 kg menghasilkan tegangan 3,015 V, sedangkan untuk berat badan 65kg menghasilkan tegangan 3,575 V dan menghasilkan rata-rata total tegangan sebesar 3,194 V. Tegangan yang dihasilkan berupa tegangan AC (*Alternating Current*).

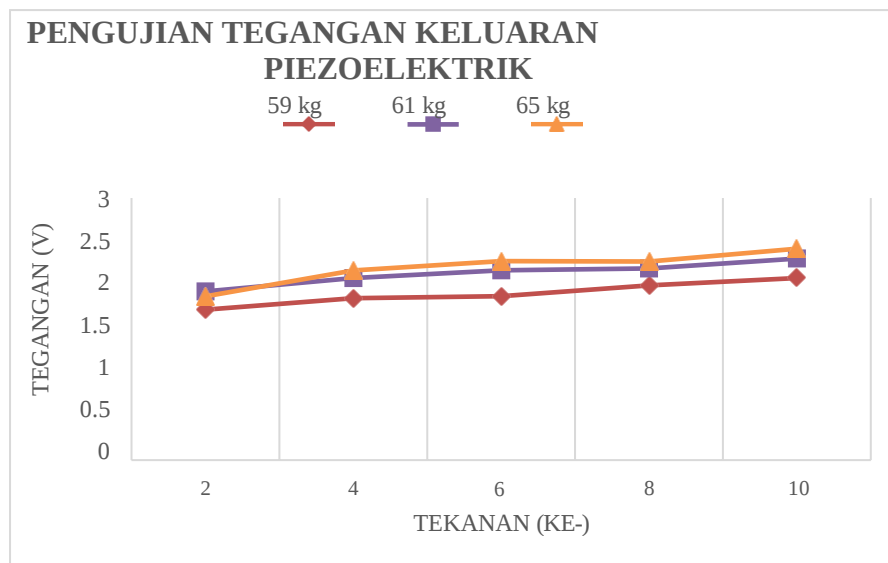
**Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Kaset Kaki Dengan Metode Energy Harvesting**  
**(Ni Ketut H.D, Septia Rifaldi: Halaman 29-40)**

Selanjutnya melakukan pengujian terhadap rangkaian piezoelektrik yang sudah melewati rangkaian penyearah, hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 3. Tegangan yang dihasilkan berupa tegangan DC (*Direct Current*), karena rangkaian penyearah berfungsi untuk mengubah tegangan AC (*Alternating Current*) menjadi tegangan DC (*Direct Current*).

Tabel 3 Pengujian dengan tiga orang yang memiliki berat badan berbeda hasil keluaran dari rangkaian penyearah

| Berat badan | Tegangan hasil dari tekanan ke- |         |         |         |         | Rata-rata |
|-------------|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------|
|             | 2                               | 4       | 6       | 8       | 10      |           |
| 59 kg       | 1,722 V                         | 1,855 V | 1,876 V | 2,002 V | 2,084 V | 1,907 V   |
| 61 kg       | 1,931 V                         | 2,086 V | 2,172 V | 2,195 V | 2,307 V | 2,138 V   |
| 65 kg       | 1,998 V                         | 2,219 V | 2,279 V | 2,275 V | 2,421 V | 2,238 V   |

Setelah melakukan pengujian terhadap kaset kaki piezoelektrik dengan memberikan tekanan secara langsung terhadap kaset kaki piezoelektrik berupa berat badan dengan bobot 59 kg, 61 kg dan 65 kg. Dari ketiga variabel tersebut dapat diketahui bahwa berat badan dengan bobot 59 kg menghasilkan rata-rata tegangan 1,907 V per dua kali tekanan, berat badan dengan bobot 61 kg menghasilkan rata-rata tegangan 2,138 V per dua kali tekanan sedangkan untuk berat badan dengan bobot 65 kg menghasilkan rata-rata tegangan 2,238 V per dua kali tekanan. Rata-rata total tegangan yang dihasilkan adalah 2,094 V per dua kali tekanan.



Gambar 12 Grafik pengujian tegangan keluaran piezoelektrik

Pada Gambar 12 garis berwarna merah, ungu dan kuning, masing-masing menunjukkan tegangan keluaran akibat tekanan kaki dari orang yang berbobot 59 kg, 61 kg dan 65 kg. Dari hasil pengujian diatas, tegangan keluaran dapat berubah-ubah dengan batasan tertentu. Pada pengujian kali ini juga dapat kita lihat bahwa, semakin berat bobot dari orang untuk memberikan tekanan maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan prinsip dari piezoelektrik yang mengubah energi kinetik, dalam hal ini adalah berat badan orang menjadi energi listrik.

#### D. Hasil Pengukuran Kapasitor

Setelah melakukan pengujian terhadap tegangan awal dan setelah mendapatkan tegangan dari rangkaian piezoelektrik maka mendapatkan hasil seperti pada Tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Pengujian terhadap kapasitor

| Berat badan | Tegangan pada kapasitor sebelum ditekan | Tegangan pada kapasitor setelah ditekan |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| 59 kg       | 4 mV                                    | 45 mV                                   |
| 61 kg       | 7,7 mV                                  | 79 mV                                   |
| 65 kg       | 3 mV                                    | 15 mV                                   |

Pengujian terhadap kapasitor dilakukan untuk mengetahui tegangan dari kapasitor sebelum dan sesudah mendapat tegangan dari rangkaian piezoelektrik. Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa pengujian dengan orang yang berbobot 59kg tegangan awal kapasitor adalah 4 mV, dan ketika mendapatkan tekanan tegangannya menjadi 45 mV. Untuk orang dengan bobot 61kg tegangan awal kapasitor adalah 7,7 mV, dan ketika mendapatkan tekanan tegangannya menjadi 79 mV. Sedangkan untuk orang dengan bobot 65kg tegangan awal kapasitor adalah 3 mV, dan berubah menjadi 15 mV ketika mendapatkan tekanan.

#### *E. Hasil Pengukuran Dioda*

Setelah dilakukan pengukuran terhadap kapasitas satuan, maka didapat hasil pengukuran kapasitas satuan tahanan (Ohm) sekitar  $1,6 \Omega$  dari dioda, hasil didapat seperti Gambar 13.



Gambar 13 Hasil pengukuran tahanan diode

Dengan kapasitas satuan tahanan dioda  $1,6 \Omega$ , maka tahanan total dari dioda yang dihubungkan secara seri dan paralel adalah sebesar  $0,625 \Omega$ . Rangkaian dioda tersebut akan mengubah tegangan AC menjadi DC, sekaligus menghambat tegangan keluaran dari rangkaian piezoelektrik sehingga tegangan yang keluar akan menjadi kecil dan berubah menjadi tegangan DC.

#### *F. Hasil Pengukuran Baterai*

Setelah melakukan pengukuran tegangan sebesar 3,5 V pada baterai, maka didapat hasil tegangan baterai seperti Gambar 14.

***Analisis Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan Dari Rancang Bangun Prototipe Alat Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik Memanfaatkan Energi Kinetik Dari Kaset Kaki Dengan Metode Energy Harvesting***  
(Ni Ketut H.D, Septia Rifaldi: Halaman 29-40)

---



Gambar 14 Pengukuran tegangan pada 1 buah baterai

Selanjutnya dilakukan pengukuran pada baterai untuk mengetahui tegangannya ketika dipasang secara seri, dan didapatkan hasil tegangan sebesar 7,11 V seperti pada Gambar 15.



Gambar 15 Pengukuran tegangan pada baterai yang terhubung seri

***G. Analisis Desain Kaset Kaki***

Jika diasumsikan berat badan manusia rata-rata 60kg, maka tegangan keluaran setiap langkah manusia adalah 2V setiap 15 buah piezoelektrik yang dirangkai parallel, maka dapat diperoleh energi yang tersimpan dalam sebuah kapasitor dengan kapasitansi 450  $\mu\text{F}$  adalah

$$E = \frac{1}{2} (450 \times 10^{-6}) \times \left(\frac{2}{15}\right)^2$$
$$E = 38.025 \times 10^{-10} \text{ J}$$

Maka untuk mengisi baterai dengan kapasitas 3000 mAh dengan tegangan 3,7 V maka energi yang dibutuhkan adalah 11,1 W-h atau dengan 39.960 joule.

Pada kaset kaki normal berukuran 36,5 cm x 58 cm dengan piezoelektrik berukuran diameter 26 mm, maka dapat dipasang 126 buah piezoelektrik. Maka sebuah kaset kaki berukuran 36,5 cm x 58 cm dapat menghasilkan energi sebesar

$$E = 126 \times (38.025 \times 10^{-10}) \text{ J} = 479.115 \times 10^{-9} \text{ J}$$

Jumlah tekanan yang dibutuhkan untuk mengisi baterai pada keset kaki berukuran 36,5 cm x 58 cm adalah

$$\text{Jumlah langkah} = \frac{\text{Kapasitas Baterai}}{\text{Energi per langkah}} = \frac{39.960}{479.115 \times 10^{-9}} = 82.840 \times 10^6$$

Dengan jumlah sebanyak itu, tempat yang memungkinkan dipasang sebuah keset kaki pembangkit listrik dengan menggunakan piezoelektrik adalah fasilitas publik yang sering digunakan orang seperti tempat ibadah, stasiun dan mini market.

#### IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian tentang membuat rancang bangun prototipe alat pembangkit listrik menggunakan piezoelektrik memanfaatkan energi kinetik dari keset kaki dengan metode *energy harvesting*.

1. Pengujian yang dilakukan sebanyak 10 kali tekanan, dilakukan dengan tiga orang yang memiliki berat badan berbeda dan menghasilkan rata-rata total tegangan sebesar 3,194 Vac sebelum masuk ke dalam rangkaian penyearah dan menghasilkan tegangan 2,904 Vdc hasil keluaran dari rangkaian penyearah.
2. Rata-rata tegangan yang dihasilkan oleh masing-masing bobot berat badan berbeda-beda, seperti 59kg menghasilkan rata-rata tegangan sebesar 1,907 V, 61 kg menghasilkan rata-rata tegangan sebesar 2,138 V dan untuk berat badan 65 kg menghasilkan rata-rata tegangan sebesar 2,238 V. Hasil tersebut membuktikan bahwa semakin berat bobot orang yang memberikan tekanan, maka akan semakin besar juga tegangan yang dihasilkan.
3. Keset kaki berukuran 25,5 cm x 19 cm menghasilkan tegangan rata-rata sebelum masuk ke dalam rangkaian penyearah 3,193 Vac dan menghasilkan tegangan keluaran dari rangkaian penyearah 2,904 Vdc, maka untuk keset kaki berukuran normal 36,5 cm x 58 cm dengan 126 buah piezoelektrik akan menghasilkan energi sebesar  $479.115 \times 10^{-9} \text{ J}$ . Dan membutuhkan  $82.840 \times 10^6$  kali tekanan pada keset kaki tersebut untuk dapat mengisi penuh baterai lithium ion 3,7 Vdc dengan kapasitas 3000 mAh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. I. Ramli and Irfan, "Perancangan Sound Energy Harvesting Berbasis Material Piezoelektrik untuk Memanfaatkan Kebisingan di Sepanjang Ruas Pantai Losari menuju Losari sebagai Ruang Publik Hemat Energi," Hasanuddin Student J., vol. 1, no. 1, pp. 66–72, 2017.
- [2] J. Tgk, S. Abdurrauf, B. Aceh, and B. Aceh, "Perancangan Prototype Penghasil Energi Listrik Berbahan Dasar Piezoelectrik," J. Karya Ilm. Tek. Elektro, vol. 1, no. 3, pp. 63–67, 2016.
- [3] P. Dirton, "Rancang bangun antena penyearah (rectifier antenna) untuk pemanen energi elektromagnetik pada frekuensi GSM 1800 MHz," 2014.
- [4] R. F. Ibrahim, "Energi Terbarukan Indonesia," no. April, pp. 1–54, 2014.
- [5] M. I. Mowaviq, A. Junaidi, and S. Purwanto, "Lantai Permanen Energi Listrik Menggunakan Piezoelektrik," Energi & Kelistrikan, vol. 10, no. 2, pp. 112–118, 2019, doi: 10.33322/energi.v10i2.219.
- [6] A. F. Farizy, D. A. Asfani, and A. Baterai, "Desain Sistem Monitoring," vol. 5, no. 2, 2016.
- [7] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," J. Rekayasa Mesin, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015, doi: 10.21776/ub.jrm.2015.006.02.1.
- [8] M. Chanif, S. Sarwito, and E. S. K., "Analisa Pengaruh Penambahan Kapasitor Terhadap Proses Pengisian Baterai Wahana Bawah Laut," J. Tek. Pomits, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2014.

## **Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) di UPJ Purbalingga**

Istirom H., S.T<sup>1\*)</sup>, Daru T.N., S.T, M.T<sup>2)</sup>, Eko M., S.T, M.T<sup>3)</sup>

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Soedirman

<sup>\*)</sup>Korespondensi : [istiromhandhayani@gmail.com](mailto:istiromhandhayani@gmail.com)

### **Abstrak**

Pada sistem kelistrikan prediksi sangat dibutuhkan untuk memperkirakan dengan tepat seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk melayani beban dan kebutuhan energi dalam distribusi energi listrik dimasa yang akan datang. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui jumlah konsumsi energi listrik, mengetahui nilai elastisitas energi, dan menganalisis nilai *losses* daya dan *drop voltage* di wilayah UPJ Purbalingga tahun 2015-2020. Metode dalam penelitian ini menggunakan LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) dengan skenario BAU (Business As Usual). Hasil analisis dan simulasi diperoleh total konsumsi energi sebesar 266,5 gWh meningkat menjadi 449,6 gWh pada tahun 2020. Hasil perhitungan elastisitas energi untuk Purbalingga yaitu dengan membandingkan rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik sebesar 9,07% dengan rata-rata pertumbuhan ekonomi (PDRB) sebesar 12,25%, sehingga diperoleh nilai elastisitas energinya adalah 0,74. Hasil dari analisis *losses* daya dan *drop voltage*, sesuai standar SPLN No. 1 : 1995 nilai *losses* daya dan *drop voltage* adalah (20 KV : + 5%; – 10%), maka *losses* daya di semua *feeder* memenuhi standar PLN, namun pada *feeder* PBG 02 dan PBG 03 dari tahun 2014-2020 nilai *drop* tegangannya termasuk *critical voltage*, dimana nilai tegangannya kurang dari 95%, untuk mengurangi kondisi tersebut perlu dilakukan pemerataan beban di Purbalingga agar dapat mensuplai energi hingga ditahun mendatang.

**Kata kunci** : Prediksi, *drop voltage*, nilai *losses*, skenario BAU, LEAP, ETAP

### **Abstract**

In the electrical system, prediction is needed to estimate exactly how much electrical energy is needed to serve the load and energy needs in the distribution of electrical energy in the future. The purpose of this study is to determine the amount of electrical energy consumption, find out the value of energy elasticity, and analyze the value of power losses and voltage drops in the UPJ Purbalingga area in 2015-2020. The method in this study uses LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) with bau (Business As Usual) scenario. The results of the analysis and simulation obtained a total energy consumption of 266.5 gWh increased to 449.6 gWh in 2020. The result of the calculation of energy elasticity for Purbalingga is by comparing the average growth of electrical energy consumption of 9.07% with the average economic growth (GRDP) of 12.25%, so that the energy elasticity value is 0.74. The results of the analysis of power losses and voltage drops, according to SPLN standards No. 1: 1995 the value of power losses and voltage drops is (20 KV: + 5%; – 10%), then the power losses in all feeders meet PLN standards, but in pbg 02 and PBG 03 feeders from 2014-2020 the voltage drop value includes critical voltage, where the voltage value is less than 95%, To reduce these conditions, it is necessary to equalize the load in Purbalingga in order to supply energy until the next year.

**Keywords** :Prediction, *drop voltage*, power losses, BAU scenario, LEAP, ETAP

## **I. PENDAHULUAN**

Pertambahan penduduk yang semakin pesat dan diiringi pertumbuhan ekonomi yang tinggi menyebabkan kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat. Seperti halnya di wilayah Purbalingga yang saat ini sedang banyak dilakukan pembangunan di segala bidang, sehingga dibutuhkan penyediaan

dan penyaluran tenaga listrik yang memadai, baik dari segi teknis maupun ekonomisnya. Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan suatu prediksi konsumsi energi listrik untuk mengetahui jumlah konsumsi energi listrik di Purbalingga di masa mendatang[1].

Prediksi sangat dibutuhkan untuk memperkirakan dengan tepat seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk mensuplai beban dan kebutuhan energi dalam distribusi energi listrik dimasa yang akan datang[2]. Kebutuhan tenaga listrik pada suatu daerah didorong oleh dua faktor utama, yaitu faktor teknis dan faktor ekonomi. Faktor teknis terdiri dari program elektrifikasi dan pengalihan *captive power* (penggunaan pembangkit sendiri berbahan bakar minyak) ke jaringan PLN. Faktor ekonomi terdiri dari Produk Domestik Bruto (PDB), pengeluaran konsumsi rumah tangga, PDB dari industri manufaktur, dan nilai tambah industri berat[3].

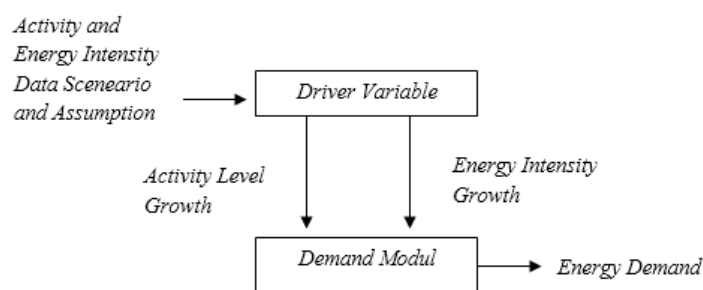
Oleh karena tingginya permintaan akan daya listrik maka prediksi terhadap beban listrik sangat diperlukan untuk membantu pengambilan kebijakan mengenai pertambahan beban listrik baik jangka pendek, menengah, dan panjang. Dengan mengetahui jumlah permintaan beban listrik pada periode tertentu, akan dapat diproyeksikan kebutuhan beban listrik untuk periode berikutnya. Sehubungan dengan hal-hal tersebut, maka penulis memprediksi jumlah kebutuhan energi listrik di wilayah Purbalingga untuk lima tahun yang akan datang menggunakan *software LEAP (Long-range Energy Alternative Planing System)*.

## II. METODE

### A. Metode LEAP

*The Long-range Energy Alternatives Planning* atau kemudian disingkat menjadi LEAP adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan/pemodelan energi-lingkungan[4]. LEAP bekerja berdasarkan asumsi skenario yang pengguna inginkan, skenario tersebut didasarkan pada perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi hingga proses energi tersebut dikonsumsi oleh masyarakat[5].

LEAP terdiri dari 4 modul utama yaitu Modul Variabel Penggerak (*Driver Variable*) yang dalam versi baru disebut juga *Key Assumptions*, Modul Permintaan (*Demand*), Transformasi (*Transformation*) dan Sumber Daya Energi (*Resources*). Modul tambahan adalah pelengkap terhadap modul utama jika diperlukan, yaitu *Statistical Differences*, *Stock Changes*, dan *Non Energy Sector Effects*. Berikut ini merupakan skema permodelan LEAP.



Gambar 1 Pemodelan LEAP [5]

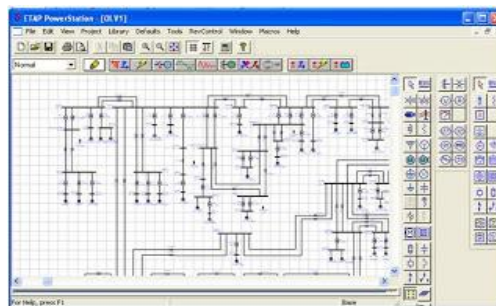
Modul variabel penggerak (*Driver Variable*) yang cabangnya dinamakan dengan cabang “*Key Assumptions*” digunakan untuk menampung parameter-parameter umum yang dapat digunakan adalah jumlah penduduk, PDRB (Produk Domestik Regional Bruto), jumlah rumah tangga, intensitas energi, tingkat aktivitas dan sebagainya. Modul Permintaan (*Demand*) digunakan untuk menghitung permintaan energi. Analisis yang digunakan dalam model ini menggunakan metode yang didasarkan pada pendekatan *end-use* (pengguna akhir) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai (dalam penelitian ini dengan sektor tarif) sehingga diperoleh jumlah permintaan energi per sektor pemakai

dalam suatu wilayah pada rentang waktu tertentu. Sedangkan penentuan proyeksinya menggunakan trend yang terjadi dalam beberapa waktu yang ditentukan[6].

#### B. Metode ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis[7].



Gambar 2 Single Line Diagram di ETAP [8]

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dengan Software LEAP

Dalam simulasi LEAP, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah mengatur dan menentukan parameter dasar simulasi. Di dalam parameter dasar, lingkup kerja ditentukan yaitu hanya pada analisis permintaan (*demand*). Kemudian menentukan tahun dasar simulasi.

Selanjutnya menentukan *key assumptions* yang merupakan bagian dari cabang (*branch*) yang berfungsi sebagai variabel penggerak. Asumsi yang digunakan sebagai *key* adalah intensitas energi dan pelanggan untuk masing-masing sektor tarif. Untuk unit satuan yang digunakan pada intensitas energi adalah KWh/Pelanggan, sedangkan untuk level aktivitas adalah pelanggan. Berikut data jumlah konsumsi energi listrik dan data jumlah pelanggan dari tahun 2009-2014.

Tabel 1 Jumlah pemakai energi listrik di UPJ Purbalingga per sektor (gWh)

| Pemakaian energi listrik (gWh) |        |              |        |          |        |
|--------------------------------|--------|--------------|--------|----------|--------|
| Tahun                          | Sosial | Rumah tangga | Bisnis | Industri | Publik |
| 2009                           | 5,4    | 130,1        | 10,2   | 20,5     | 6,8    |
| 2010                           | 5,8    | 139,5        | 11,1   | 21,2     | 7,2    |
| 2011                           | 6,4    | 148,1        | 11,7   | 23,9     | 7,7    |
| 2012                           | 7,1    | 161,5        | 12,7   | 28,3     | 8,1    |
| 2013                           | 7,8    | 176,7        | 13,7   | 31,6     | 8,5    |
| 2014                           | 8,5    | 193,4        | 14,7   | 35,2     | 9,02   |

Tabel 2 Jumlah pelanggan per sektor di UPJ Purbalingga

| Pelanggan |        |              |        |          |        |
|-----------|--------|--------------|--------|----------|--------|
| Tahun     | Sosial | Rumah tangga | Bisnis | Industri | Publik |
| 2009      | 3.461  | 124.508      | 2.117  | 70       | 846    |
| 2010      | 3.695  | 133.178      | 2.344  | 75       | 862    |
| 2011      | 3.941  | 141.375      | 2.482  | 80       | 887    |
| 2012      | 4.364  | 158.763      | 2.691  | 85       | 914    |
| 2013      | 4.724  | 175.860      | 2.932  | 96       | 953    |
| 2014      | 5.002  | 185.958      | 3.287  | 119      | 987    |

Tabel 3 Hasil persentase pertumbuhan jumlah pelanggan per tahun

| Sektor       | 2009-2010 | 2010-2011 | 2011-2012 | 2012-2013 | 2013-2014 |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| sosial       | 6,76%     | 6,66%     | 10,73%    | 8,25%     | 5,88%     |
| rumah tangga | 6,96%     | 6,15%     | 12,3%     | 10,77%    | 5,74%     |
| bisnis       | 10,7%     | 5,89%     | 8,42%     | 8,96%     | 12,11%    |
| industri     | 7,14%     | 6,67%     | 6,25%     | 12,94%    | 23,96%    |
| publik       | 1,89%     | 2,9%      | 3,04%     | 4,27%     | 3,57%     |

Setelah diketahui total konsumsi energi listrik dan jumlah pelanggan pada tahun 2014 sebagai tahun dasar prediksi, maka dapat diperoleh nilai intensitas energi per sektornya di UPJ Purbalingga sebagai berikut.

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \quad (1)$$

Sektor sosial (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{8.246.616}{5.002} = 1.648,66 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor rumah tangga (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{198.511.673}{185.958} = 1.067,51 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor bisnis (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{16.137.352}{3.287} = 4.909,44 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor industri (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{35.380.470}{119} = 297.314,87 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor publik (tahun 2014)

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}}$$

$$= \frac{8.120.434}{987} = 8.227,39 \text{ kWh/pelanggan}$$

Dari tabel 3 seperti yang sudah dijelaskan di atas dapat diketahui pertumbuhan jumlah pelanggan per sektor tiap tahunnya dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014. Hasil perhitungan untuk pertumbuhan jumlah pelanggan per sektor tiap tahunnya untuk data jumlah pelanggan dari tahun 2009-2014 dapat dihitung seperti di bawah ini.

Pertumbuhan pelanggan pada sektor sosial (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan sosial} = \frac{3.695 - 3.461}{3.461} \times 100 = 6,76 \% \quad (2)$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor rumah tangga (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan rumah tangga} = \frac{133.178 - 124.508}{124.508} \times 100\% = 6,96 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor bisnis (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan bisnis} = \frac{2.344 - 2.117}{2.117} \times 100\% = 10,7 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor industri (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan industri} = \frac{75 - 70}{70} \times 100\% = 7,14 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor publik (2009-2010)

$$\% \text{ pelanggan publik} = \frac{862 - 846}{846} \times 100\% = 1,89 \%$$

Dapat dibuat Tabel 4 perhitungan pertumbuhan jumlah pelanggan dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 di bawah ini.

**Tabel 4 Hasil persentase pertumbuhan jumlah pelanggan per tahun**

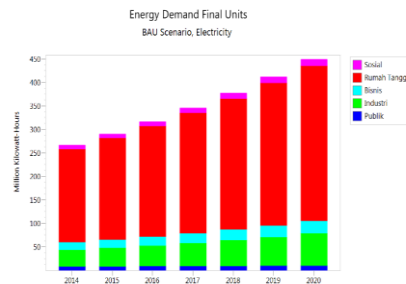
| <b>Sektor</b>       | <b>2009-2010</b> | <b>2010-2011</b> | <b>2011-2012</b> | <b>2012-2013</b> | <b>2013-2014</b> |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| <b>sosial</b>       | 6,76%            | 6,66%            | 10,73%           | 8,25%            | 5,88%            |
| <b>rumah tangga</b> | 6,96%            | 6,15%            | 12,3%            | 10,77%           | 5,74%            |
| <b>bisnis</b>       | 10,7%            | 5,89%            | 8,42%            | 8,96%            | 12,11%           |
| <b>industri</b>     | 7,14%            | 6,67%            | 6,25%            | 12,94%           | 23,96%           |
| <b>publik</b>       | 1,89%            | 2,9%             | 3,04%            | 4,27%            | 3,57%            |

Sebelum masuk ke tahap analisis berikutnya yaitu memasukan parameter nilai rata-rata pertumbuhan intensitas energi listrik dan pertumbuhan pelanggan per sektor tiap tahunnya dari tahun 2009-2014. Tabel 5 di bawah ini menunjukan besar nilai intensitas energi listrik per sektor tiap tahunnya.

**Tabel 5 Hasil perhitungan nilai intensitas energi listrik per sektor**

| <b>Tahun</b> | <b>kWh/pelanggan</b> |                     |               |                 |               |
|--------------|----------------------|---------------------|---------------|-----------------|---------------|
|              | <b>sosial</b>        | <b>rumah tangga</b> | <b>bisnis</b> | <b>industri</b> | <b>Publik</b> |
| <b>2009</b>  | 1.548                | 1.045               | 4.835         | 293.059         | 8.111         |
| <b>2010</b>  | 1.589                | 1.048               | 4.699         | 283.421         | 8.423         |
| <b>2011</b>  | 1.633                | 1.047               | 4.754         | 299.806         | 8.732         |
| <b>2012</b>  | 1.638                | 1.017               | 4.734         | 333.361         | 8.846         |
| <b>2013</b>  | 1.654                | 1.005               | 4.674         | 329.264         | 8.961         |
| <b>2014</b>  | 1.707                | 1.040               | 4.485         | 296.313         | 9.140         |

Dari Tabel 5 di atas, dihitung nilai pertumbuhan intensitas energi persektor tiap tahunnya, rumus dan cara mencarinya sama dengan mencari nilai pertumbuhan pelanggan. Pertumbuhan kedua faktor tersebut menjadi dasar perhitungan dengan tahun 2014 sebagai tahun dasar prediksi. Hasil dari prediksi konsumsi / permintaan energi listrik di UPJ Purbalingga di tunjukan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Hasil prediksi konsumsi energi listrik UPJ Purbalingga 2015-2020 dengan LEAP

Tabel 6 Hasil Prediksi konsumsi energi listrik UPJ Purbalingga 2015-2020 dengan LEAP (gWh)

| Sektor Tarif | 2014  | %   | 2015  | %   | 2016   | %   | 2017  | %   |
|--------------|-------|-----|-------|-----|--------|-----|-------|-----|
| Sosial       | 8,2   | 3   | 8,9   | 3   | 9,7    | 3   | 10,6  | 3   |
| Rumah tangga | 198,6 | 75  | 216,2 | 74  | 235,3  | 74  | 256,2 | 74  |
| Bisnis       | 16,1  | 6   | 17,58 | 6   | 19,2   | 6   | 20,9  | 6   |
| Industri     | 35,4  | 13  | 39,5  | 14  | 44,2   | 14  | 49,3  | 14  |
| Publik       | 8,1   | 3   | 8,4   | 3   | 8,7    | 3   | 8,9   | 3   |
| Total        | 266,4 | 100 | 290,6 | 100 | 317,05 | 100 | 345,9 | 100 |

| Sektor Tarif | 2018  | %   | 2019  | %   | 2020  | %   |
|--------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----|
| Sosial       | 11,5  | 3   | 12,5  | 3   | 13,5  | 3   |
| Rumah tangga | 278,8 | 74  | 303,5 | 74  | 330,3 | 74  |
| Bisnis       | 22,7  | 6   | 24,7  | 6   | 26,9  | 6   |
| Industri     | 55,1  | 15  | 61,6  | 15  | 68,7  | 15  |
| Publik       | 9,3   | 2   | 9,6   | 2   | 9,9   | 2   |
| Total        | 377,4 | 100 | 411,9 | 100 | 449,6 | 100 |

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 6 terlihat bahwa jumlah konsumsi energi total di UPJ Purbalingga pada tahun 2020 akan mencapai 449.629.510 kWh (449,6 gWh). Hasil prediksi permintaan konsumsi energi listrik di UPJ Purbalingga menunjukkan adanya peningkatan dari tahun 2014 dengan total konsumsi 266,5 gWh menjadi 449,6 gWh pada tahun 2020, sehingga peningkatan konsumsinya selama lima tahun adalah 62,96%. Permintaan konsumsi energi listrik di sektor sosial meningkat menjadi 13,5 gWh atau naik 65,8% pada tahun 2020, sektor rumah tangga 66%, sektor bisnis 67%, sektor industri 94%, dan sektor publik 22%.

Tabel 7 Persentase total rata-rata konsumsi energi listrik dengan LEAP

| Sektor Tarif    | 2014-2015 | 2015-2016 | 2016-2017 | 2017-2018 | 2018-2019 | 2019-2020 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| sosial          | 8,63%     | 8,6%      | 8,64%     | 8,6%      | 8,64%     | 8,6%      |
| rumah tangga    | 8,85%     | 8,9%      | 8,85%     | 8,9%      | 8,85%     | 8,9%      |
| Bisnis          | 8,94%     | 8,9%      | 8,94%     | 8,9%      | 8,94%     | 8,9%      |
| industri        | 11,71%    | 11,7%     | 11,72%    | 11,7%     | 11,72%    | 11,7%     |
| publik          | 3,43%     | 3,39%     | 3,43%     | 3,4%      | 3,43%     | 3,4%      |
| Total rata-rata | 8,31%     | 8,32%     | 8,32%     | 8,32%     | 8,32%     | 8,32%     |

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa persentase total rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dari hasil analisis pada tahun 2015-2020 yaitu sebesar 8,32%. Bisa dilihat bahwa dengan menggunakan asumsi skenario BAU laju pertumbuhan konsumsi energi listrik per tahunnya dapat dikatakan sama, adapun selisih kenaikan per tahunnya sangat kecil yaitu sekitar 0,01%.

Tabel 8 Nilai error peramalan pada masing-masing sektor tarif

| <b>Pembuktian Penelitian Tahun 2015</b> |               |             |              |
|-----------------------------------------|---------------|-------------|--------------|
| <b>Sektor Tarif</b>                     | <b>Aktual</b> | <b>LEAP</b> | <b>Error</b> |
| <b>Sosial</b>                           | 8.963.296     | 8.960.665   | 0,029%       |
| <b>Rumah Tangga</b>                     | 216.192.339   | 216.183.868 | 0,004%       |
| <b>Bisnis</b>                           | 17.779.129    | 17.578.570  | 1,141%       |
| <b>Industri</b>                         | 39.894.359    | 39.525.651  | 0,933%       |
| <b>Publik</b>                           | 8.505.801     | 8.398.660   | 1,276%       |
| <b>Total</b>                            | 290.933.924   | 290.647.414 | 0,099%       |

Dari hasil nilai error diatas dapat dijelaskan bahwa prediksi konsumsi energi untuk tahun mendatang berhasil karena nilai presentase errornya kurang dari 5%.

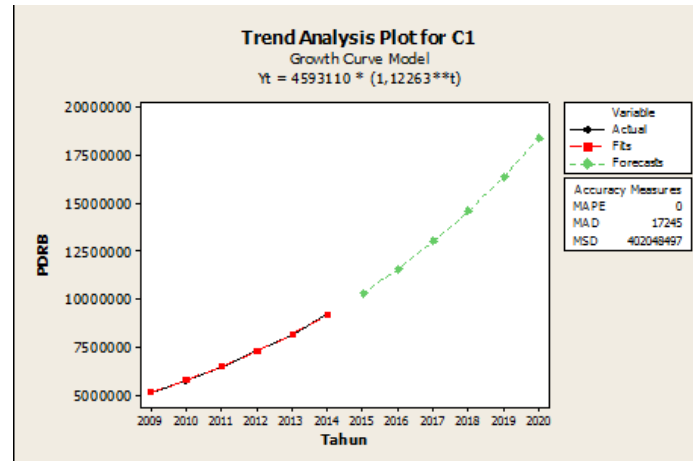
#### ***B. Menghitung Elastisitas Energi Di Purbalingga***

Untuk mencari pertumbuhan Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) digunakan simulasi dengan menggunakan *software* Minitab 16. Pada simulasi yang akan penulis lakukan adalah dengan memasukkan data jumlah pertumbuhan ekonomi per tahun yaitu dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 dalam (juta Rp), seperti tabel yang dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 9 Pertumbuhan ekonomi (PDRB) di wilayah Purbalingga

| <b>PDRB atas dasar harga berlaku</b> |                       |                        |
|--------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>Tahun</b>                         | <b>PDRB (juta Rp)</b> | <b>Pertumbuhan (%)</b> |
| 2009                                 | 5.161.810             |                        |
| 2010                                 | 5.770.135             | 11,79%                 |
| 2011                                 | 6.521.622             | 13,02%                 |
| 2012                                 | 7.298.610             | 11,91%                 |
| 2013                                 | 8.156.951             | 11,76%                 |
| 2014                                 | 9.214.364             | 12,96%                 |

Berdasarkan dari tabel data pertumbuhan ekonomi dari tahun 2009-2014 diperoleh hasil analisis perkiraan pertumbuhan PDRB untuk lima tahun kedepan yaitu sampai dengan tahun 2020. Model analisis perkiraan pada simulasi yang penulis lakukan disini salah satunya yaitu dengan analisis *Exponential Growth Curve Model* dan hasil dari simulasinya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4 Exponential Growth Curve Model

Pada hasil analisis dengan data pertumbuhan ekonomi (PDRB) dari tahun 2009-2014 diperoleh jumlah perkiraan pertumbuhan perekonomian (PDRB) di wilayah Purbalingga untuk tahun 2015-2020. Berikut adalah tabel perbandingan pertumbuhan konsumsi energi listrik dan pertumbuhan ekonomi (PDRB).

Tabel 10 Pertumbuhan PDRB, konsumsi energi listrik dan elastisitas energi

| Tahun | Konsumsi Energi |                 | PDRB           |                 |
|-------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|
|       | GWh             | Pertumbuhan (%) | PDRB (Juta Rp) | Pertumbuhan (%) |
| 2009  | 173,18          |                 | 5.161.810      |                 |
| 2010  | 185,86          | 7,32%           | 5.770.135      | 11,79%          |
| 2011  | 197,55          | 6,29%           | 6.521.622      | 13,02%          |
| 2012  | 220,64          | 11,69%          | 7.298.610      | 11,91%          |
| 2013  | 245,38          | 11,21%          | 8.156.951      | 11,76%          |
| 2014  | 266,39          | 8,56%           | 9.214.364      | 12,96%          |
| 2015  | 290,64          | 9,10%           | 10.321.722     | 12,02%          |
| 2016  | 317,04          | 9,08%           | 11.587.433     | 12,26%          |
| 2017  | 345,90          | 9,10%           | 13.008.352     | 12,26%          |
| 2018  | 377,44          | 9,12%           | 14.603.513     | 12,26%          |
| 2019  | 411,92          | 9,14%           | 16.394.282     | 12,26%          |
| 2020  | 449,62          | 9,15%           | 18.404.645     | 12,26%          |

Berikut rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dan pertumbuhan perekonomiannya dari tahun 2009-2020, adapun perhitungannya dapat dilihat seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} & \text{Mencari nilai rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dalam (\%):} \\ & = \frac{7,3 + 6,3 + 11,7 + 11,2 + 8,6 + 9,1 + 9,1 + 9,1 + 9,1 + 9,2}{11} \\ & = 9,07\% \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{Mencari nilai rata-rata pertumbuhan ekonomi (PDRB) dalam (\%):} \\ & = \frac{11,8 + 13,02 + 11,9 + 11,7 + 12,9 + 12,02 + 12,3 + 12,3 + 12,3 + 12,3}{9} \\ & = 12,25\% \end{aligned}$$

***Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) di UPJ Purbalingga (Istirom H., S.T., Daru T. N, S.T, M.T, Eko M., S.T, M.T: Halaman 41-53 )***

Nilai elastisitas energinya dapat diketahui yaitu dengan perbandingan antara pertumbuhan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB), yaitu rumusnya adalah sebagai berikut. Nilai elastisitas energinya dapat diketahui yaitu dengan perbandingan antara pertumbuhan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB), yaitu rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Elastisitas Energi} = \frac{\text{Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik}}{\text{Pertumbuhan ekonomi (PDRB)}} \quad (4)$$

$$E = \frac{9,07\%}{12,25\%} = 0,74$$

Dari hasil analisis perbandingan jumlah konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi di wilayah Purbalingga sampai tahun 2020, Purbalingga dapat dikatakan sebagai wilayah yang memiliki tingkat efisiensi yang baik bila dibandingkan dengan nilai elastisitas energi di Indonesia yang saat ini mencapai 1,63[3]. Elastisitas energi yang rendah di Purbalingga didukung dengan adanya langkah Pemkab Purbalingga melalui surat edaran Sekda Purbalingga Nomor 071/1142 tentang penghematan energi dan air, dimana dalam surat edaran tersebut terdapat anjuran untuk melakukan penghematan[9]

***C. Menghitung Kapasitas Beban Trafo di UPJ Purbalingga***

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada perhitungan kapasitas beban trafo daya yang ada di gardu induk Purbalingga, bahwa dengan melihat data tahun dasar prediksi yaitu tahun 2014 diperoleh hasil perhitungan untuk memperkirakan jumlah kapasitas beban trafo daya yang ada di gardu induk Purbalingga untuk jangka waktu lima tahun kedepan yaitu dari tahun 2015-2020 dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 11 Perhitungan total kapasitas beban trafo tahun 2014-2020 (GWh)**

| <b>Sektor Tarif</b> | <b>2014</b> | <b>2015</b> | <b>2016</b> | <b>2017</b> | <b>2018</b> | <b>2019</b> | <b>2020</b> |
|---------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Sosial              | 8,24        | 8,96        | 9,74        | 10,6        | 11,5        | 12,5        | 13,6        |
| Rumah tangga        | 198,6       | 216,18      | 235,32      | 256,2       | 278,8       | 303,5       | 330,4       |
| Bisnis              | 16,13       | 17,6        | 19,2        | 20,9        | 22,7        | 24,8        | 26,9        |
| Industri            | 35,38       | 39,2        | 44,2        | 49,32       | 55,1        | 61,6        | 68,7        |
| Publik              | 8,12        | 8,4         | 8,7         | 8,9         | 9,3         | 9,6         | 9,94        |
| Total konsumsi      | 266,5       | 290,6       | 317,04      | 345,9       | 377,4       | 411,9       | 449,6       |
| Total beban         | 44,73 MVA   | 48,77 MVA   | 53,23 MVA   | 58,08 MVA   | 63,38 MVA   | 69,15 MVA   | 75,44 MVA   |

Berdasarkan Tabel 11 terlihat bahwa besar total beban trafo daya yang harus disuplai untuk pelanggan selalu bertambah. Hal ini dikarenakan jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Purbalingga selalu meningkat per tahunnya dari tahun 2015-2020. Untuk menghitung besar kapasitas beban trafo dalam (VA) per tahunnya harus diketahui faktor beban dan faktor dayanya, berdasarkan sumber referensi PT. PLN tahun 2011 region Jawa-Bali diketahui nilai faktor bebannya yaitu 0,8[10]. Besar nilai faktor daya yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero) sebagai penyedia listrik SPLN 70-1 adalah > 0,85 agar mendapatkan besar total kapasitas beban trafo daya perlu diketahui jumlah konsumsi energi listrik per tahunnya yaitu dari tahun 2015-2020, contoh perhitungannya adalah seperti di bawah ini.

Jumlah konsumsi energi listrik tahun 2014 (266.487.859 kWh)

Mencari daya rata-rata :

$$\text{Per hari} = \frac{266.487.859.000 \text{ Wh}}{365} = 730.103.723,3 \text{ Wh} \quad (5)$$

$$\text{Per jam} = \frac{730.103.723 \text{ Wh}}{24} = 30.420.988,47 \text{ W}$$

$$= 30,42\text{MW}$$

Beban maksimum :

$$\text{Dengan melihat faktor beban (0,8)} = \frac{30,42 \text{ MW}}{0,8} \quad (6)$$

$$= 38,025 \text{ MW}$$

$$\text{Jadi, total beban (VA)} = \frac{38,025\text{MW}}{0,85} = 44,73 \text{ MVA}$$

**D. Analisis Nilai Losses Dan Drop Voltage Menggunakan ETAP**

Setelah hasil prediksi konsumsi energi listrik untuk jangka lima tahun didapatkan, data tersebut kemudian dimasukkan kedalam suatu jaringan distribusi GI Purbalingga untuk dianalisa nilai *losses* dan *drop voltage*. Penggambaran jaringan distribusi GI Purbalingga menggunakan *software* ETAP 12.6.0. adalah sebagai berikut. Data hasil prediksi yang kita dapatkan kemudian dimasukkan kedalam 7 *feeder* GI Purbalingga dengan nilai prosentase tertentu berdasarkan dari perhitungan data aktual dikurangi data hasil prediksi kemudian dikalikan 100%. Didapatkan untuk tahun 2014 pembagian bebannya setiap *feeder* sebesar 41%, 2015 sebesar 35%, 2016 sebesar 30%, 2017 sebesar 23%, 2018 sebesar 16%, 2019 sebesar 9%, dan 2020 sebesar 0,1%. Nilai *losses* dan *drop voltage* yang akan dicari merupakan nilai tegangan yang berada diujung beban. *Drop* tegangan dan *losses* yang diizinkan oleh jaringan sesuai dengan SPLN No.1 : 1995 (20 KV : + 5%; – 10%). Saat tegangan melebihi batas yang ditentukan oleh PLN yang sesuai SPLN, maka tegangan yang ada pada *feeder* dianggap tidak aman untuk sistem.

**E. Hasil Analisis Nilai Losses dan Drop Voltage Untuk Prediksi Konsumsi Energi Lima Tahun Mendatang (2015 – 2020)**

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui nilai *losses* daya dan *drop voltage* tahun 2019 sebagai berikut. Contoh perhitungan nilai *losses* daya PBG 01

$$\Delta P = \frac{\text{Losses}}{\text{Daya Pengirim}} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \left[ \frac{26,6 + j62,6}{6570 + j4118} \right] \times 100\%$$

$$= 0,87 \%$$

Contoh perhitungan nilai *drop voltage* PBG 06 (8)

$$\Delta V = \frac{V \text{ pengirim} - V \text{ ujung}}{V \text{ pengirim}} \times 100\%$$

$$= \frac{20 \text{ Kv} - 19,004 \text{ Kv}}{20 \text{ Kv}} \times 100\% = 4,98 \%$$

Dari hasil contoh perhitungan di atas dapat diketahui nilai *losses* daya tahun 2015 – 2020 pada tabel 12 dan *drop voltage* tahun 2015 – 2020 pada Tabel 12 di bawah ini.

Tabel 12 Nilai *Losses* Daya Tahun 2014 – 2020

| FEEDER             | 2014         |          | 2015         |          | 2016         |          |
|--------------------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|
|                    | Losses (kVA) | % Losses | Losses (kVA) | % Losses | Losses (kVA) | % Losses |
| PBG 01             | 27,6         | 0,54%    | 33,91        | 0,61%    | 38,16        | 0,65%    |
| PBG 02             | 246,16       | 2,51%    | 300,69       | 2,79%    | 349,67       | 3,01%    |
| PBG 03             | 127,14       | 3,14%    | 154,22       | 3,47%    | 180,08       | 3,76%    |
| PBG 04             | 200,92       | 1,94%    | 249,64       | 2,17%    | 290,34       | 2,35%    |
| PBG 05             | 84,32        | 1,10%    | 102,73       | 1,22%    | 119,98       | 1,32%    |
| PBG 06             | 30,73        | 0,60%    | 37,27        | 0,66%    | 43,27        | 0,71%    |
| PBG 07             | 0,31         | 0,03%    | 0,31         | 0,03%    | 0,44         | 0,04%    |
| rata-rata % losses |              | 1,41%    |              | 1,56%    |              | 1,69%    |
| FEEDER             | 2017         |          | 2018         |          | 2019         |          |
|                    | Losses (kVA) | % Losses | Losses (kVA) | % Losses | Losses (kVA) | % Losses |
| PBG 01             | 47,90        | 0,73%    | 57,52        | 0,80%    | 68,01        | 0,87%    |
| PBG 02             | 428,48       | 3,35%    | 515,12       | 3,69%    | 609,13       | 4,04%    |
| PBG 03             | 219,90       | 4,14%    | 265,93       | 4,59%    | 313,95       | 5,01%    |
| PBG 04             | 353,38       | 2,60%    | 423,98       | 2,85%    | 501,94       | 3,12%    |
| PBG 05             | 146,28       | 1,47%    | 174,61       | 1,61%    | 206,45       | 1,75%    |
| PBG 06             | 52,91        | 0,79%    | 63,26        | 0,87%    | 74,59        | 0,95%    |
| PBG 07             | 0,53         | 0,04%    | 0,63         | 0,04%    | 0,76         | 0,05%    |
| rata-rata % losses |              | 1,87%    |              | 2,32%    |              | 2,26%    |

| FEEDER             | 2020         |          |
|--------------------|--------------|----------|
|                    | Losses (kVA) | % Losses |
| PBG 01             | 82,57        | 0,97%    |
| PBG 02             | 743,05       | 4,47%    |
| PBG 03             | 383,45       | 5,56%    |
| PBG 04             | 616,15       | 3,47%    |
| PBG 05             | 251,04       | 1,95%    |
| PBG 06             | 90,73        | 1,05%    |
| PBG 07             | 0,58         | 0,05%    |
| rata-rata % losses |              | 2,51%    |

Tabel 13 Nilai Drop Voltage tahun 2014 – 2020

| FEEDER                    | 2014                |              | 2015                |              | 2016                |              |
|---------------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                           | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage |
| PBG 01                    | 19,382              | 3,1%         | 19,315              | 3,4%         | 19,26               | 3,7%         |
| PBG 02                    | 18,992              | 5,39%        | 18,806              | 5,97%        | 18,711              | 6,45%        |
| PBG 03                    | 18,967              | 5,2%         | 18,857              | 5,7%         | 18,764              | 6,2%         |
| PBG 04                    | 19,071              | 4,64 %       | 18,965              | 5,18%        | 18,882              | 5,59%        |
| PBG 05                    | 19,297              | 3,5 %        | 19,22               | 3,9%         | 19,156              | 4,2%         |
| PBG 06                    | 19,374              | 3,13 %       | 19,307              | 3,47%        | 19,251              | 3,74%        |
| PBG 07                    | 19,487              | 2,26 %       | 19,432              | 2,8%         | 19,386              | 3,1%         |
| Rata -rata % Drop Voltage |                     | 3,9 %        |                     | 4,4%         |                     | 4,7%         |

| FEEDER                    | 2017                |              | 2018                |              | 2016                |              |
|---------------------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|---------------------|--------------|
|                           | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage |
| PBG 01                    | 19178               | 4,1%         | 19,097              | 4,5%         | 19,015              | 3,7%         |
| PBG 02                    | 18,57               | 7,15%        | 18,429              | 7,86%        | 18,711              | 6,45%        |
| PBG 03                    | 18,632              | 6,8%         | 18,496              | 8%           | 18,764              | 6,2%         |
| PBG 04                    | 18,764              | 6,18%        | 18,643              | 6,79%        | 18,882              | 5,59%        |
| PBG 05                    | 19,066              | 4,7%         | 18,975              | 5,12%        | 19,156              | 4,2%         |
| PBG 06                    | 19,168              | 4,16%        | 19,086              | 4,57%        | 19,251              | 3,74%        |
| PBG 07                    | 19,318              | 3,4%         | 19,249              | 3,8%         | 19,386              | 3,1%         |
| Rata -rata % Drop Voltage |                     | 5,2%         |                     | 5,7%         |                     | 4,7%         |

| FEEDER                    | 2020                |              |
|---------------------------|---------------------|--------------|
|                           | Tegangan Ujung (kV) | Drop Voltage |
| PBG 01                    | 18,906              | 5,5%         |
| PBG 02                    | 18,102              | 9,49%        |
| PBG 03                    | 18,184              | 9,1%         |
| PBG 04                    | 18,357              | 8,22%        |
| PBG 05                    | 18,761              | 6,2%         |
| PBG 06                    | 18,894              | 5,53%        |
| PBG 07                    | 19,089              | 4,6%         |
| Rata -rata % Drop Voltage |                     | 6,9%         |

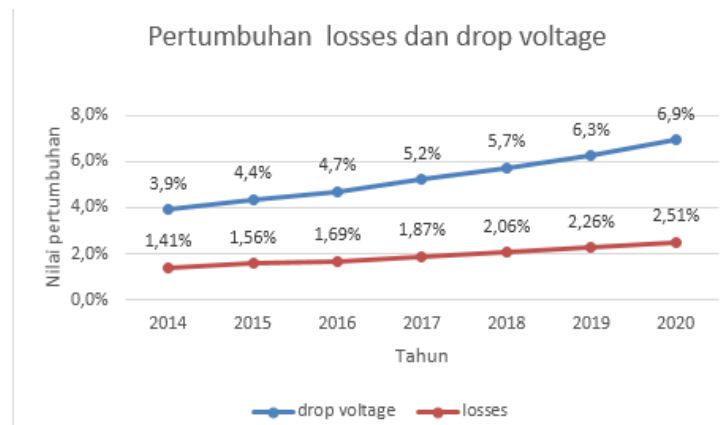
Dari tabel di atas dapat dijelaskan bahwa nilai losses di tiap feeder didapat dari penjumlahan nilai losses tiap cabang yang berada pada feeder tersebut. Tegangan pengirim semua feeder nilainya sama yaitu sebesar 20 kV sedangkan tegangan ujung didapat dari nilai tegangan yang berada pada ujung beban. Sesuai tegangan standar SPLN No.1 : 1985 (220/380 Volt : + 5%; – 10%), maka beban feeder di GI Purbalingga dapat dikatakan memenuhi standar yang ada.

Pada tabel nilai drop voltage terlihat bahwa dari tahun 2014 hingga 2020, feeder PBG 02 dan PBG 03 sudah berada dalam kondisi *critical voltage* dimana nilai tegangannya kurang dari 95%. Kondisi ini

dapat dikarenakan pada *feeder* PBG 02 terdapat jumlah beban berlebih, yaitu sebesar 16,552 MVA yang dibagi ke 8 *section*. Hal yang sama terjadi di *feeder* PBG 03 yang memiliki jumlah beban sebesar 6,803 MVA yang dibagi ke 5 *section*, kemungkinan kondisi *critical voltage* pada *feeder* ini dapat dikarenakan oleh sektor publik yang lebih banyak daripada *feeder* yang lain, yaitu 8 sektor publik.

Pada tahun 2015 hingga 2018 selain *feeder* PBG 02 dan PBG 03, PBG 04 masuk kedalam kondisi *critical voltage*. Hal ini dapat dikarenakan oleh banyaknya *section* yaitu 13 *section*, dengan jumlah beban sebesar 17,868 MVA. Selain itu terdapat beberapa sektor yang ada di *feeder* ini, yaitu sektor rumah tangga, dimana pada sektor ini terdapat 78 desa dan satu buah perumahan yang termasuk kedalam pelanggan sektor rumah tangga, dua sektor bisnis dan satu sektor industri. Di tahun 2019, *feeder* yang masuk kedalam kondisi *critical voltage* bertambah menjadi 4 *feeder* yaitu *feeder* PBG 02, PBG 03, PBG 04, dan PBG 05. Pada *feeder* PBG 05 hal ini dimungkinkan karena jumlah beban yang berlebih, yaitu sebesar 15,06 MVA yang dibagi kedalam 6 *section*. Selain itu, pada *feeder* ini terdapat tiga sektor industri dan satu sektor sosial. Kemudian, di tahun 2020 hampir semua *feeder* di UPJ Purbalingga masuk kedalam *critical voltage* kecuali *feeder* PBG 07.

Hal ini dapat dikarenakan sedikitnya *section* yaitu dua *section* pada *feeder* PBG 07 dengan jumlah beban sebesar 1,718 MVA. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis di atas, *feeder* yang sudah masuk kedalam kondisi *critical voltage* perlu dilimpahkan bebannya ke *feeder* lain atau dipindah ke *feeder* baru. Pada *feeder* yang masih baik, jika memungkinkan dapat digunakan untuk membantu *feeder* lain agar bisa memperbaiki *drop voltage* tersebut. Jika kapasitas trafo yang sudah ada tidak memungkinkan untuk mensuplai energi, maka perencanaan penambahan daya trafo diperlukan agar dapat mensuplai energi di Purbalingga hingga ditahun mendatang. Dari hasil analisis diatas dapat dibuat grafik pertumbuhan rata-rata nilai *drop voltage* dan *losses* daya dari tahun 2015 – 2020 seperti di bawah ini.



Gambar 5 Grafik nilai pertumbuhan rata-rata *Losses* Daya dan *Drop Voltage* tahun 2015 – 2020

Grafik pertumbuhan *losses* dan *drop voltage* dapat dilihat pada Gambar 5, nilai rata-rata kenaikan *losses* dan *drop voltage* dari tahun 2015-2020 sebesar 1,99% dan 5,53%. Nilai tersebut semakin meningkat seiring dengan nilai konsumsi energi tiap tahun.

#### IV. KESIMPULAN

1. Prediksi konsumsi energi listrik dengan menggunakan *software* LEAP di UPJ Purbalingga dari tahun 2015-2020 diperoleh total rata-rata konsumsi energi per tahun sebesar 8,32%.
2. Permintaan konsumsi energi terendah yaitu di sektor publik sebesar 22% dan tertinggi di sektor industri sebesar 94%.
3. Hasil dari perhitungan nilai elastisitas energi untuk wilayah Purbalingga sebesar 0,74, lebih kecil dibanding nilai elastisitas energi Indonesia yang mencapai 1,63.
4. Nilai rata-rata *losses* daya dari tahun 2015-2020 sebesar 1,99%.
5. Nilai rata-rata *drop voltage* dari tahun 2015-2020 sebesar 5,53%.

6. Dari tahun 2015-2020 hampir semua *feeder* di Purbalingga masuk kedalam kondisi *critical voltage*, namun terdapat 2 *feeder* yang sudah dalam kondisi *critical voltage* dari tahun 2015 yaitu *feeder* PBG 02 dan PBG 03.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. E. dan S. D. M. R. I. M. P. P. K. 2010 s. d. 2014 (online), “ESDM.” <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/7645-ketersediaan-energi-syarat-dasar-negara-maju.html>,.
- [2] S. Widoyoko, *Perangkat Lunak untuk Desain dan Analisa Sistem Pengaturan Linier Optimal*. 1994.
- [3] PT PLN, *PT. PLN (Persero)*. 2013.
- [4] Y. A. Masus, B. V Tarigan, and J. S. Bale, “Analisis Kebutuhan Energi di Universitas Nusa Cendana Tahun 2018-2050 Menggunakan Perangkat Lunak Long-range Energy Alternative Planning system ( LEAP ),” vol. 06, no. 01, pp. 1–12, 2019.
- [5] E. dan B. L. Wijaya, “Optimization of Indonesian Geothermal Energy Resources for Future Clean Electricity Supply: A Case of Java-Madura-Bali System.,” *Conf. Energy Netw. Thailand, Gen. c-5 Naresuan Univ.*, pp. 2–3, 2009.
- [6] R. . Purnomo, “Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. Skripsi,” *Jur. Tek. Fis. Fak. Tek. Univ. Gajah Mada, Yogyakarta*, 2005.
- [7] S. Laboratory, “Etap Online.” <http://stdelaboratory.blogspot.co.id/2013/11/tentang-etap-electric-transient-and.html>.
- [8] D. Mahardika, “Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dengan Menggunakan Software DKL 3.2 dan ETAP. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang,” *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro, Semarang*.
- [9] P. Daerah *et al.*, “Bupati purbalingga,” 2011.
- [10] P. P. (PERSERO) W. J. Tengah, *PT.PLN (PERSERO)*. 2011.

## **Microstrip Patch Rectangular Susunan Side By Side Multielement Pada Frekuensi 2,4 GHz Berbasis Silver Nanowires (Agnws)**

**M. Reza Hidayat <sup>1\*)</sup>, Irfan Noor Muhammad <sup>2)</sup>, Sofyan Basuki <sup>3)</sup>,**

<sup>1,2,3)</sup>Program Studi Teknik Elektro  
Universitas Jenderal Achmad Yani  
Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531

<sup>\*)</sup>Korespondensi : mreza@lecture.unjani.ac.id

### **Abstrak**

Perkembangan penggunaan material dielektrik buatan termasuk dalam penggunaan *silver nanowires* pada perancangan antenna mikrostrip berkembang semakin pesat. Hal ini bertujuan agar mengoptimalkan parameter antenna sesuai kebutuhan tanpa mengubah ukuran dimensi antenna secara signifikan. Penelitian ini menerapkan salah satu teknik perancangan material dielektrik buatan menggunakan *silver nanowires* berukuran skala nano (*nanowires*) yang bertujuan mendapatkan nilai parameter antenna sesuai standar Wi-Fi 2,4 GHz dengan gain yang cukup tinggi ( $> 3\text{dBi}$ ). Pada penelitian ini perancangan menggunakan tiga variasi untuk *silver nanowires* dan tiga variasi *patch*. Variasi *silver nanowires* berupa panjang, diameter dan jumlah *silver nanowires* sedangkan untuk *patch* digunakan variasi *single patch*, *double patch* dan *triple patch*. Antenna *microstrip* menggunakan spesifikasi *patch* dengan tebal 0,035 mm berbahan *copper*, dengan ketebalan 1,6 mm untuk substrat berbahan FR-4 epoxy. Berdasarkan hasil pengamatan parameter antenna dari karakteristik variasi *silver nanowires* didapatkan hasil yang diinginkan pada variasi diameter 300 nm, panjang 32 mm dan jumlah 342 *silver nanowires* pada *triple patch* dengan hasil *return loss* = -20,731 dB; *VSWR* = 1,202; *gain* = 5,338 dB dan *directivity* = 9,970 dBi. Hasil diatas mengalami peningkatan nilai yang diinginkan dibandingkan dengan antenna *microstrip triple patch* tanpa *nanowires* dengan nilai *return loss* = - 16,191 dB; *VSWR* = 1,366; *gain* = 5,142 dB dan *directivity* = 9,829 dBi. Dari hasil observasi tahap simulasi dapat disimpulkan bahwa antenna mikrostrip menggunakan *nanowires* berhasil dirancang menyesuaikan dengan standar antenna yang dibutuhkan serta diperolehnya gain yang lebih besar dari batas kebutuhan.

**Kata kunci :** antenna, gain, FR-4 Epoxy, microstrip, return loss, silver nanowires, VSWR

### **Abstract**

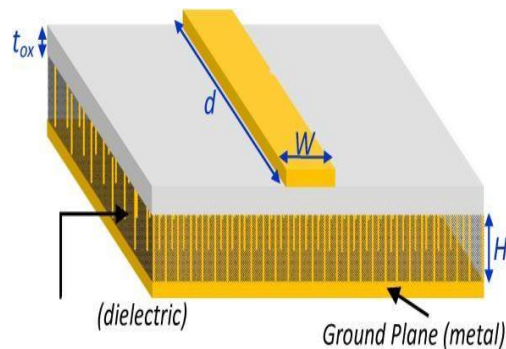
The development of the use of artificial dielectric materials, including the use of silver wire in the design of microstrip antennas, is growing rapidly. It aims to optimize the antenna parameters as needed without changing the antenna dimensions significantly. This study applies one of the artificial dielectric material design techniques using nano-scale silver wires (*nanowires*) which aims to get the antenna parameter values according to the 2.4 GHz Wi-Fi standard with a fairly high gain ( $> 3\text{dBi}$ ). In this study, the design uses three variations for silver nanowires and three variations of patches. Variations of silver nanowires are in the form of length, diameter and number of silver nanowires, while for patches, variations of single patch, double patch and triple patch are used. The microstrip antenna uses a patch specification with a thickness of 0.035 mm made of copper, with a thickness of 1.6 mm for a substrate made of FR-4 epoxy. Based on the observations of the antenna parameters from the characteristics of the silver nanowires variation, the desired results were obtained at variations in diameter of 300 nm, length of 32 mm and the number of 342 silver nanowires in triple patch with *return loss* = -20.731 dB; *VSWR* = 1.202; *gain* = 5.338 dB and *directivity* = 9.970 dBi. The above results have increased the desired value compared to triple patch microstrip antennas without nanowires with a *return loss* value = - 16.191 dB; *VSWR* = 1.366; *gain* = 5.142 dB and *directivity* = 9.829 dBi. From the observation results of the simulation stage, it can be concluded that the microstrip antenna using nanowires has been successfully designed to match the required antenna standards and obtains a gain greater than the required limit.

**Keywords :** antenna, gain, FR-4 Epoxy, microstrip, return loss, silver nanowires, VSWR

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini telah mengalami perkembangan yang cukup signifikan, mulai dari komunikasi menggunakan kabel hingga komunikasi tanpa kabel. Salah satu media komunikasi tanpa kabel adalah antenna. Antena berfungsi sebagai media untuk memancarkan atau mengirimkan sinyal informasi yang dibawa oleh gelombang radio. Salah satu antena yang sering digunakan adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip merupakan antena kecil yang memiliki tiga bagian utama yaitu *patch*, substrat dan *ground* [1]. Antena dalam pengoptimalisasian kinerja saat ini dirancang dengan berbagai metoda salah satunya menggunakan material buatan berbasis bahan konduktor seperti kawat tembaga, perak, maupun logam konduktor PEC lainnya. Pentingnya penerapan penggunaan bahan konduktor dalam merancang material buatan karena sifat bahan konduktor yang meningkatkan intensitas medan listrik yang akan mempengaruhi penguatan dari suatu antena. Hal ini sangat berguna khususnya untuk antena mikrostrip yang memiliki sifat penguatan yang tergolong rendah. Pada penelitian ini akan dirancang antena mikrostrip menggunakan teknologi *silver nanowires* sebagai alternatif peningkatan parameter antena. Antena dirancang dengan frekuensi kerja 2.4 GHz untuk aplikasi Wi-Fi.

Beberapa contoh penelitian sebelumnya telah dianalisa bahwa material nanowires memiliki tingkat fleksibilitas dan konduktivitas yang tinggi. Selain kelebihan material, *nanowires* juga terbukti memiliki keunggulan pada performa sebagai antena yang melindungi gelombang elektromagnetik dan memiliki penguatan redaman pada antena [2]. Sedangkan pada penelitian lain dijelaskan bahwa material nanowires telah diaplikasikan pada perangkat antena RF dan menunjukkan bahwa respon frekuensi pada antena dapat diatur dengan mengubah dimensi struktur nanowires. Di antara beberapa bahan logam yang digunakan, kawat nano perak memiliki keunggulan dibandingkan dengan bahan logam lainnya. Kawat nano perak memiliki tingkat konduktivitas yang tinggi sebagai antena dan memiliki kemudahan dalam pengaplikasian material substrat apapun dengan beberapa metode yang digunakan [3]. Dalam penelitian selanjutnya telah diamati bahwa sifat konduktif kawat nano dapat disimulasikan pada perangkat lunak dengan bentuk dua dimensi tongkat berbentuk tongkat. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan adalah pendekatan komputasi dan eksplorasi mengenai pengaruh variabel kawat nano, seperti panjang, diameter dan jumlah kawat nano serta densitas sifat listrik kawat nano [4].



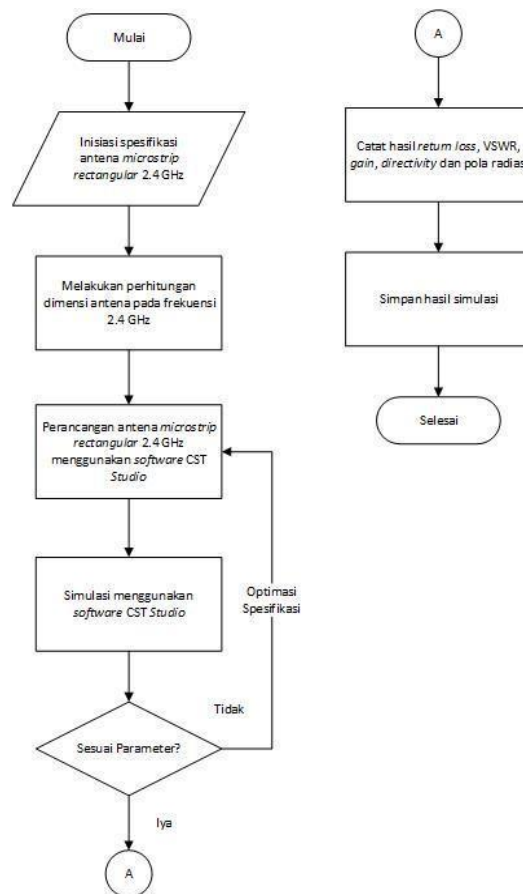
Gambar 1 Ilustrasi aplikasi kawat nano pada antena mikrostrip. [5]

Pada Gambar 1 merupakan ilustrasi antena mikrostrip yang disikat oleh kawat nano material logam antara substrat dan *Groundplane*. *Nanowires* adalah material kawat logam yang berbentuk tabung dengan diameter 10 nm > 100 nm. Kawat nano memiliki potensi sebagai perangkat elektronik dalam skala nano [6]. Transmisi jaringan menggunakan kawat nano dapat beroperasi dari RF hingga milimeter. Substrat yang digabungkan dengan logam kawat nano menunjukkan konstanta dielektrik yang relatif tinggi [7]. Oleh karena itu menurut beberapa penelitian yang telah dilakukan membuktikan bahwa kawat nano merupakan bahan konduktif yang dapat diaplikasikan pada komponen elektronika khususnya pada aplikasi antena mikrostrip. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengamati penggunaan teknologi *nanowires* menggunakan bahan perak sebagai konduktor pembentuk material buatan yang diterapkan pada antena mikrostrip berbasis kawat nano untuk aplikasi Wi-Fi 2.4 GHz [8]. Pemilihan bahan perak ini berdasarkan dari hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahan perak memiliki keunggulan dibandingkan bahan konduktor lain khususnya peningkatan penguatan antena.

## II. METODE

Metode penelitian dalam perancangan antenna mikrostrip berbasis kawat nano perak ini diawali dengan studi literatur yang memaparkan sumber referensi dari penelitian ini. Perhitungan pada dimensi antenna membutuhkan perancangan yang sistematis, sehingga mendapatkan nilai pada setiap parameter antenna. Sebelum melakukan optimasi perlu dilakukan perhitungan untuk mencapai frekuensi yang diinginkan yaitu pada frekuensi 2,4 GHz sebagai acuan ukuran awal [9]. Setelah melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai pada setiap parameter antenna barulah perancangan akan dilakukan, perancangan bertujuan dapat memvisualisasi dan mensimulasikan antenna dan mendapatkan parameter antenna yang ingin di amati pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil dari simulasi menggunakan perangkat lunak berupa parameter-parameter antenna yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik, selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui karakteristik dan kinerja antenna. Dari tahap perancangan antenna *microstrip patch rectangular* di atas maka dibuat alur diagram seperti pada Gambar 2.

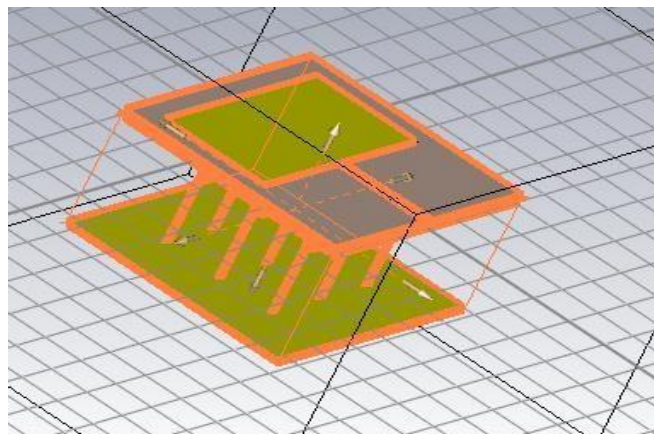
Setelah dilakukan perhitungan dimensi antenna dan mendapatkan parameter yang diinginkan, selanjutnya perancangan antenna diawali dengan membuat *patch*, substrat dan *ground* dengan parameter yang telah dibuat pada layer perangkat lunak. Pada komponen *patch* dan *ground* menggunakan material *copper* atau tembaga, sedangkan untuk substrat menggunakan material FR 4 *epoxy*. Langkah berikutnya merancang pencatutan dengan metode pencatutan langsung pada antenna mikrostrip. Setelah perancangan jalur catu daya kemudian dilanjutkan pada tahap simulasi rancangan awal. Dilakukan pengamatan parameter antenna dengan frekuensi yang diinginkan, yaitu pada frekuensi 2,4 GHz. Dilakukan pengamatan parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Langkah selanjutnya ditambahkan *patch* susunan *side by side* dengan 3 variasi yaitu *single patch*, *double patch* dan *triple patch* serta variabel *nanowires*. Adapun variabel *nanowires* yang akan disimulasikan adalah diameter dengan ukuran 100 nm, 300 nm dan 1000 nm. Panjang *nanowires* dengan panjang 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm dan 32 mm dengan jumlah *silver nanowires* sebanyak 9, 36, dan 342. Jumlah *nanowires* dikalikan dengan jumlah *patch*. Rancang antenna *microstrip single patch* dengan menambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Selanjutnya rancang antenna *microstrip* dengan *double patch* dan tambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Selanjutnya rancang antenna *microstrip* dengan *triple patch* dan tambahkan variabel *silver nanowires* dengan variasi yang telah ditentukan. Lakukan simulasi pada setiap variasi *silver nanowires* dan amati parameter antenna berupa pola radiasi, *return loss*, VSWR, *gain*, *directivity* dan *bandwidth*. Berdasarkan hasil perhitungan ukuran *patch* mikrostrip rektangular menggunakan frekuensi 2,4 GHz didapatkan ukuran lebar *patch* 54,25 mm, lebar substrat 63,85 mm, panjang *patch* 29,972 mm, panjang substrat 39,572 mm, permitivitas bahan 4,3 dan tebal substrat 1,6 mm. Standar parameter dari hasil simulasi menyesuaikan standar antenna Wi-Fi mengikuti protokol IEEE 802.1 [10]



Gambar 2 Flowchart perancangan antenna microstrip patch rectangular.

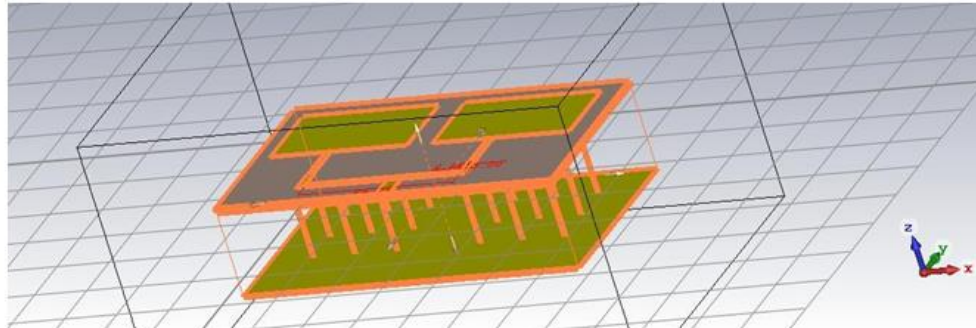
### III. HASIL DAN DISKUSI

Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *silvernawires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nawires*. Pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *nawires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nawires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nawires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nawires*, 36 *nawires* dan 9 *nawires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Hasil terbaik pada tahap simulasi ini diperoleh dengan spesifikasi rancangan menggunakan *nawires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nawire*.



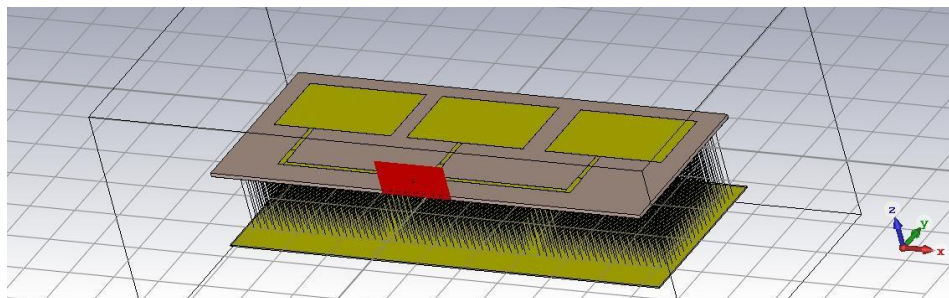
Gambar 3 Desain antenna mikrosrtip dengan nanowires *single patch*

Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *silver nanowires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowire*. Pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nanowires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nanowires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nanowires*, 36 *nanowires* dan 9 *nanowires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi

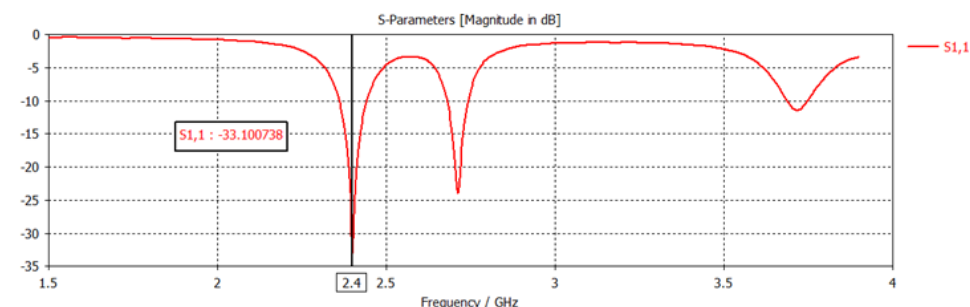


Gambar 4 Desain antenna mikrosrtip dengan nanowires *double patch*

Desain yang diinginkan pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *silver nanowires* adalah variasi dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*. Pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires*, variasi yang akan diamati adalah variasi *nanowires* dengan panjang 32 mm; diameter 100 nm, 300 nm dan 1000 nm; dan jumlah *nanowires* yang akan diamati yaitu pada 342 *nanowires*, 36 *nanowires* dan 9 *nanowires*. Adapun parameter yang akan diamati adalah *return loss*, *VSWR*, *directivity*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Dari hasil pengamatan yang diperoleh dari setiap tahap desain patch diperoleh hasil terbaik yang terlihat pada Gambar 6.



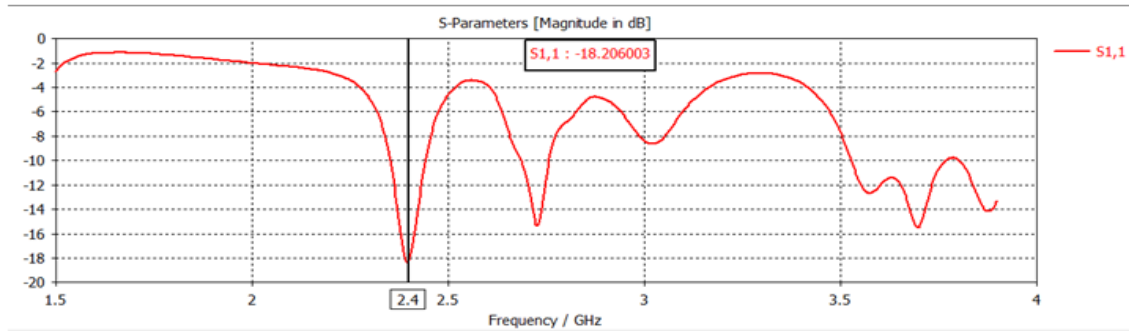
Gambar 5 Desain antenna mikrosrtip dengan nanowires *triple patch*



Gambar 6 Hasil *Return Loss* antenna *single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

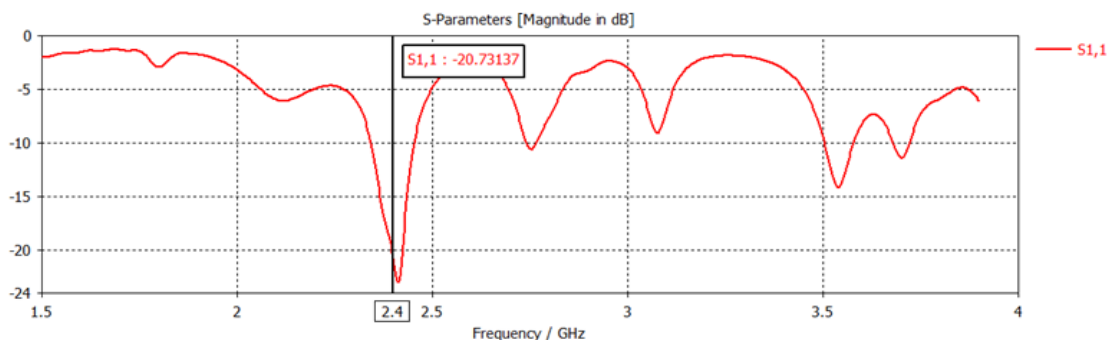
## Microstrip Patch Rectangular Susunan Side By Side Multielemen Pada Frekuensi 2,4 Ghz Berbasis Silver Nanowires (Agnws)

(M. Reza Hidayat, Irfan Noor Muhammad, Sofyan Basuki: Halaman 54-62)

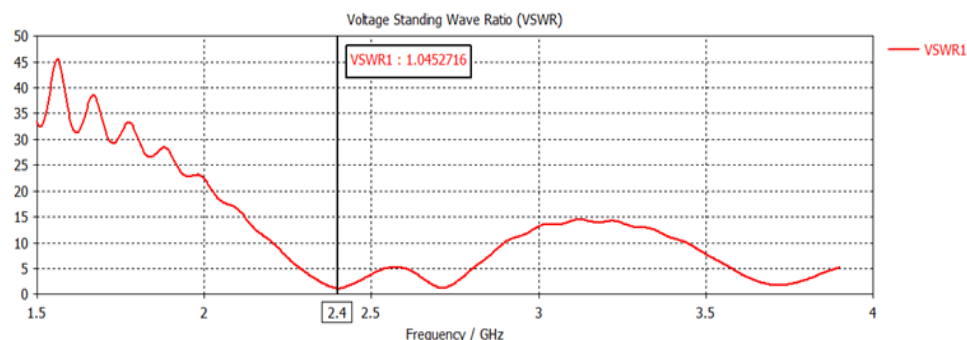


Gambar 7 Hasil *Return Loss* antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

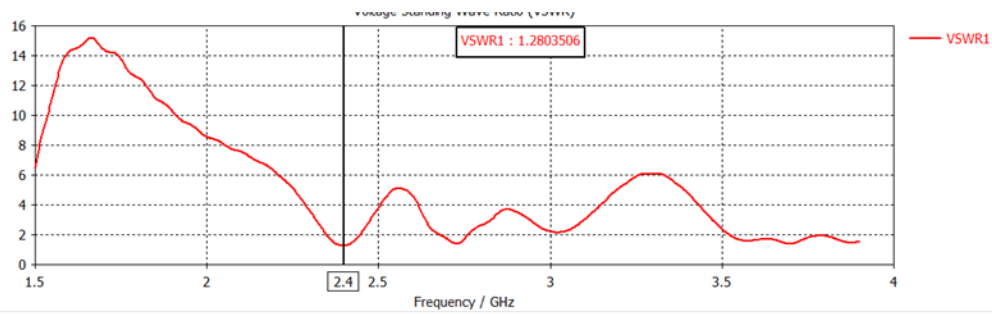
Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip single patch* dengan *silver nanowires* pada variasi panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* terlihat pada gambar 6. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -33,100 dB. Hal ini sudah memenuhi standar dari antenna yang diinginkan yaitu maksimal di -10 dB. Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* terlihat pada Gambar 7. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -18,206 dB. Pengurangan ukuran diameter dari *silver nanowires* menyebabkan kopling antar kawat semakin lemah sehingga menyebabkan nilai *return loss* yang semakin meningkat. Hasil grafik *return loss* pada antenna *microstrip triple patch* dengan *silver nanowires* pada variasi panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* terlihat pada Gambar 8. Berdasarkan dari hasil simulasi, didapatkan nilai *return loss* sebesar -20,731 dB.



Gambar 8 Hasil *Return Loss* antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*

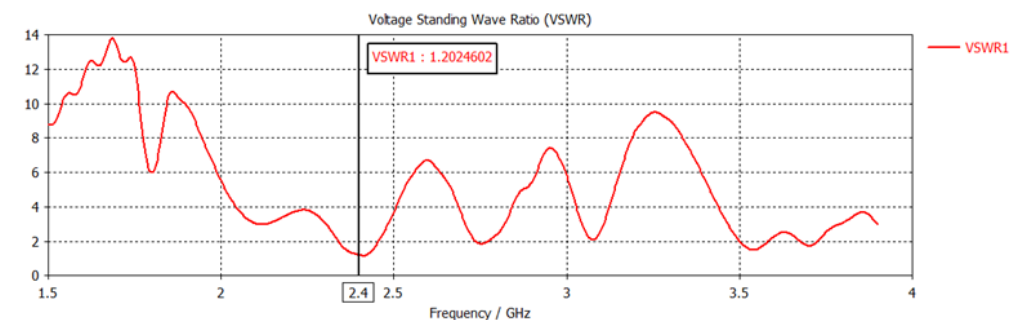


Gambar 9 Hasil *VSWR* antenna *single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

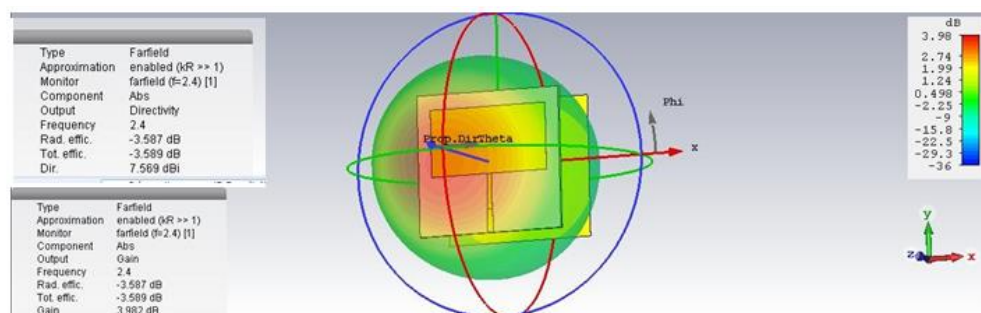


Gambar 10 Hasil VSWR antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires*

Pada Gambar 9 adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip singlepatch* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,045. Pada Gambar 10 adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,280. Pada gambar 11. adalah hasil VSWR dari simulasi antenna *microstrip triple patch* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* dan nilai yang didapatkan sebesar 1,202. Dari hasil pengamatan parameter VSWR diamati bahwa penambahan diameter angkat memperkecil nilai VSWR serta penambahan jumlah kawat akan memperkecil nilai VSWR. Hal ini seperti yang terjadi pada saat pengamatan parameter *return loss* yakni kopling yang terjadi antar kawat semakin besar mengakibatkan peningkatan dari intensitas medan listrik dan berkurangnya redaman pantul.



Gambar 11 Hasil VSWR antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires*

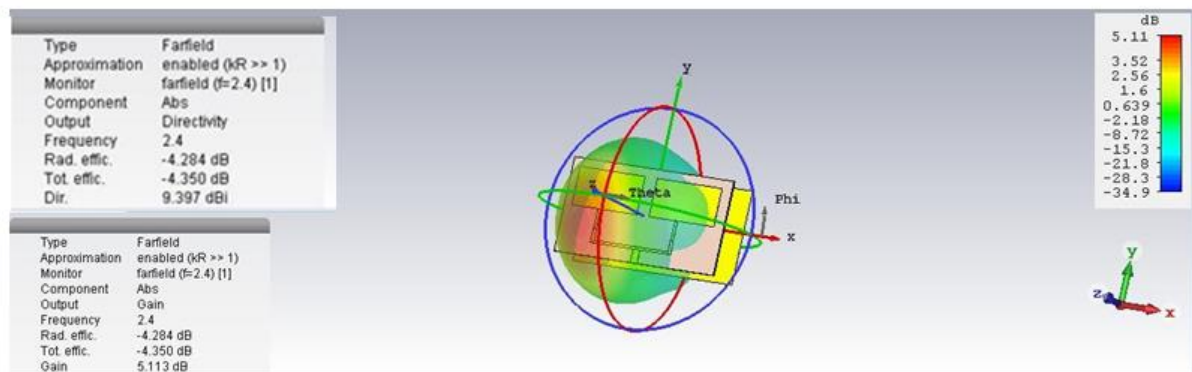


Gambar 12 Pola radiasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* pada plot pola radiasi di software CST

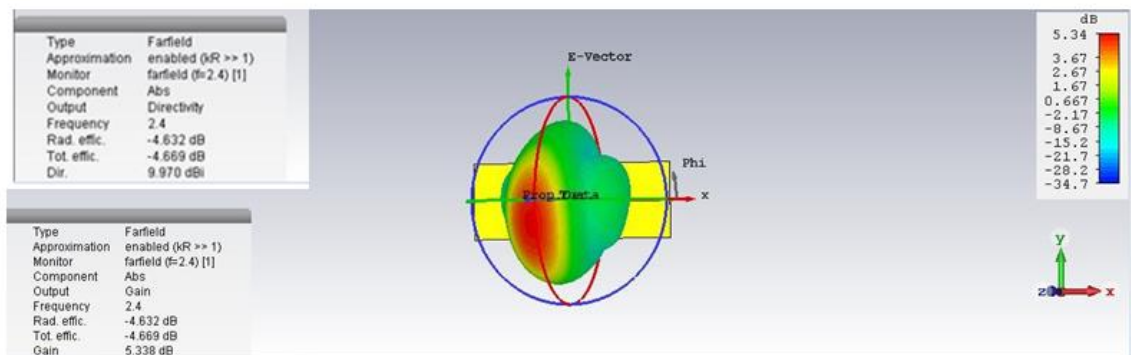
## **Microstrip Patch Rectangular Susunan Side By Side Multielemen Pada Frekuensi 2,4 Ghz Berbasis Silver Nanowires (Agnws)**

**(M. Reza Hidayat, Irfan Noor Muhammad, Sofyan Basuki: Halaman 54-62)**

Pada Gambar 12 adalah hasil pola radiasi dari simulasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 3,982 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 7,569 dBi. Pada Gambar 13 adalah hasil *gain* dari simulasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 5,113 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 5,113 dBi. Pada gambar 14 adalah hasil *gain* dari simulasi antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* yang terlihat dari plot pola radiasi pada *software* dan nilai *gain* yang didapatkan sebesar 5,338 dB. Directivity yang didapatkan sebesar 9,970 dBi.



Gambar 13 Pola radiasi antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 100 nm dan jumlah 3x3 *nanowires* pada plot pola radiasi di *software* CST



Gambar 14 Pola radiasi antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* dengan panjang 32 mm, diameter 300 nm dan jumlah 19x18 *nanowires* pada plot pola radiasi di *software* CST

Dari hasil tahap simulasi dibandingkan juga hasil perbandingan simulasi terbaik antara antenna mikrostrip tanpa dan dengan *nanowires* yang diperoleh hasil dengan uraian sebagai berikut yaitu hasil simulasi parameter antenna *microstrip single patch* tanpa *nanowires* adalah dimana return loss sebesar -35,031, VSWR sebesar 1,036, gain sebesar 3,105 dB, dan directivity sebesar 6,786 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip single patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna return loss sebesar -33,100, VSWR sebesar 1,045, gain sebesar 3,982 dB, dan directivity sebesar 7,569 dBi. Hasil simulasi parameter antenna *microstrip double patch* tanpa *nanowires* adalah dimana return loss sebesar -17,334, VSWR sebesar 1,314, gain sebesar 4,732 dB, dan directivity sebesar 8,905 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip double patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna return loss sebesar -18,206, VSWR sebesar

1,280, gain sebesar 5,113 dB, dan directivity sebesar 9,397 dBi Hasil simulasi parameter antenna *microstrip triple patch* tanpa *nanowires* adalah dimana *return loss* sebesar -16,191 dB, VSWR sebesar 1,366, *gain* sebesar 5,142 dB, dan *directivity* sebesar 9,829 dBi. Sedangkan pada antenna *microstrip triple patch* menggunakan *nanowires* yang diinginkan menghasilkan parameter antenna *return loss* sebesar -20,731 dB, VSWR sebesar 1,202, *gain* sebesar 5,338 dB, dan *directivity* sebesar 9,970dBi.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil pengamatan karakteristik *nanowires* dengan mengubah variasi panjang, diameter dan jumlah *nanowires* didapatkan hasil yang diinginkan pada rancangan dengan variasi diameter dengan ukuran 300 nm, panjang dengan ukuran 32 mm dan jumlah *nanowires* 342 pada antenna *microstrip triple patch* dengan frekuensi 2,4 GHz. Pada rancangan tersebut menghasilkan nilai *return loss* sebesar -23,397; nilai VSWR sebesar 1,145; nilai *gain* sebesar 5,559 dan *directivity* dengan nilai 10,140. Hasil ini sudah sesuai dengan standar parameter antenna yang ditargetkan untuk aplikasi Wi-Fi 2.4 GHz. Penambahan patch pada antenna *nanowires* terbukti signifikan dalam meningkatkan gain antenna. Dari hasil pengamatan perbandingan antara penggunaan *nanowires* pada antenna mikrostrip juga diperoleh kesimpulan bahwa elemen *nanowires* dapat meningkatkan gain antenna mikrostrip sehingga penggunaan *nanowires* dapat dirujuk sebagai salah satu metoda untuk peningkatan *gain* antenna mikrostrip, meskipun dari sisi fabrikasi elemen ini masih sulit untuk realisasinya. Hal ini dikarenakan ukuran kawat dalam skala nano yang utk proses realisasinya yang masih belum ada di lingkungan tempat tinggal penulis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.J. Zozaya, *A formal approach for calculating the radiation fields of a linear wire antenna*. Progress In Electromagnetics Research M, 6, pp.1-8. 2009.
- [2] T. Rai, P. Dantes, B. Bahreyni "A Stretchable RF Antenna With Silver Nanowires" 2013
- [3] L. D. Gael, G. Giusti, C. Mayousse, C. Celle, D. Bellet and J. Simonato "Flexible transparent conductive materials based on silver nanowire networks: a review" 2013
- [4] M. S. Riani, Y. Rahayu, "Perancangan Simulasi Antena Mikrostrip Dengan Slot Butterfly Untuk Aplikasi WiFi Pada Frekuensi Kerja 5,8 GHz menggunakan CST Microwave Studio," 2016
- [5] Debora, S., Analisis perbandingan antenna mikrostrip pencatu feedline dan proximity coupled pada frekuensi 2, 4-2, 5 , 2017.
- [6] T. T. Estu, V. Fauzia, Y. Wahyu, "Design 4-Element Flexible Microstrip Patch Array Antenna Using Silver Nanowires and Polydimethylsiloxane for WLAN Application" 2018
- [7] Rai, T., Dantes, P., Bahreyni, B. and Kim, W.S., 2013. A stretchable RF antenna with silver nanowires. *IEEE Electron Device Letters*, 34(4), pp.544-546.
- [8] Li, W., Yarali, E., Bakytbekov, A., Anthopoulos, T.D. and Shamim, A., 2020. Highly transparent and conductive electrodes enabled by scalable printing-and-sintering of silver nanowires. *Nanotechnology*, 31(39), p.395201.
- [9] Kirtania, S.G., Elger, A.W., Hasan, M.R., Wisniewska, A., Sekhar, K., Karacolak, T. and Sekhar, P.K., 2020. Flexible antennas: a review. *Micromachines*, 11(9), p.847.
- [10] Baird, M., Ng, B. and Seah, W., 2017, June. WiFi network access control for IoT connectivity with software defined networking. In *Proceedings of the 8th ACM on Multimedia Systems Conference* (pp. 343-348).

## **Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**

Sasky Oktafian Nabilla<sup>1\*)</sup>, Eko Ariyanto<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi D-III Teknik Elektro, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

<sup>\*)</sup>Korespondensi : kolunan\_04@yahoo.co.id

### **Abstrak**

Dalam kasus *error counting* (kegagalan perhitungan gandar kereta api) sistem *axle counter* Az S 350 U, diperlukan adanya *reset* untuk menormalkan kembali sistem, sehingga *track* dapat dilintasi kembali. Akan tetapi, *reset* hanya dapat dilakukan dari stasiun tempat terjadinya *error counting* tersebut, sehingga muncul permasalahan adanya ketidakefisienan waktu, karena mengharuskan petugas datang ke stasiun terkait, dan total waktu *reset* yang diperlukan  $\pm 30$  menit. Oleh karena itu diperlukan alat yang dapat membuat kendali *reset* dari jarak jauh (*remote reset*). Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif dengan pendekatan kualitatif, dan model pengembangan perangkat lunaknya menggunakan model realisasi, pada studi kasus hubungan Stasiun Weleri-Krengseng. Sistem yang dirancang terdiri dari 2 buah alat, yaitu *client* pada Stasiun Krengseng, dan *server* pada Stasiun Weleri, dengan masing-masing controller yang digunakan adalah STM32F103C8T6. Alat pada Stasiun Krengseng (*client*) dirancang untuk mendeteksi kondisi *axle counter* terhadap *track* menggunakan optocoupler PC817, dan hasilnya akan dikirimkan kepada *server* sebagai *input* dari sistem *remote reset*. Selain itu, *client* juga melakukan melakukan fungsi *reset* menggunakan relay, dengan mempertimbangkan *command reset* (*output* sistem *remote reset*) dari *server*, yang dikirimkan melalui jaringan LAN (*Local Area Network*) dan media transmisi fiber optik. Dengan adanya alat ini, kondisi *axle counter* terhadap *track* pada Stasiun Krengseng dapat terpantau oleh Stasiun Weleri, dan Stasiun Weleri dapat melakukan *remote reset* terhadap *axle counter* Stasiun Krengseng, dengan total waktu *reset* yang diperlukan adalah  $< 3$  detik, dengan waktu  $< 1$  detik untuk relay *reset* me-respond *command reset* dari *server*.

**Kata Kunci :** Sistem Axle Counter Az S 350 U, Error Counting, Remote Reset, I/O Remote Reset

### **Abstract**

In this paper explain about client as I/O in the axle counter Az S 350 U remote reset system. In the case of error counting (failure of railway axle calculation) Az S 350 U axle counter system, a reset is required to normalize the system, so that the track can be crossed again. However, the reset can only be done from the station where the error counting occurs, so there is a problem of time inefficiencies, because it requires officers to come to the relevant station, and the total reset time required  $\pm 30$  minutes. Therefore, a tool is needed that can create remote reset. The research method used is a descriptive method with a qualitative approach, and the software development model uses a realization model, in the case study of the Weleri-Krengseng Station relationship. The system consists of two tools, the client at Krengseng Station, and the server at Weleri Station, with each controller being STM32F103C8T6. The tool at Krengseng Station (client) is designed to detect the condition of the axle counter against the track using the PC817 optocoupler, and the results will be sent to the server as input from the remote reset system. In addition, the client also performs the reset function using relay, taking into account the command reset (remote system output reset) of the server, which is delivered over a LAN (Local Area Network) and FO transmission media. With this tool, the condition of the axle counter to the track at Krengseng Station can be monitored by Weleri Station, and Weleri Station can perform a remote reset of the Stasin Krengseng axle counter, with the total reset time required is  $< 3$  seconds, with a time of  $< 1$  second for the reset relay respond command reset from the server.

**Keywords :** Axle Counter Az S 350 U System, Error Counting, Remote Reset, I/O Remote Reset

## I. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Salah satu prasarana operasi kereta api adalah pendeteksi gandarkereta api atau *axle counter* yang berfungsi untuk menghitung jumlah gandar kereta api. Sistem *axle counter* yang digunakan merupakan *axlecounter* siemens Az S 350 U. Sistem *axle counter* terdiri dari *evaluator* yang secara fisik di-*assembling* menyatu dengan *interlocking rack*. Karena sistem *axle counter* terhubung dengan sistem *interlocking*, maka sebuah *axle counter* akan terhubung antar stasiun satu dengan yang lain. Sehingga, apabila terjadi *errorcounting* atau kegagalan perhitungan gandar kereta api oleh sistem *axle counter*, akan berpengaruh pada kondisi *track*, dan gangguan perjalanan kereta api dari stasiun satu ke stasiun lainnya. Dalam kasus *error counting*, petugas harus melakukan tindakan *reset*, sebagai bentuk pemulihan kembali kondisi *axle counter* dari *error counting*. *Reset* hanya dapat dilakukan dari stasiun tempat terjadinya *error counting* tersebut, dan mengharuskan petugas mendatangi stasiun tempat terjadinya *track error* akibat kondisi *error counting* pada *axle counter*, apabila petugas tidak pada stasiun tersebut. Dengan prosedur reset demikian, muncul permasalahan adanya ketidakefisienan waktu. Sehingga diperlukan inovasi yang dapat membuat kendali *reset* dari jarak jauh (*remote reset*), yang dapat menjangkau semua kondisi *track* dalam suatu stasiun, serta antara stasiun tersebut dan stasiun pusat resor suatu wilayah terhubung satu sama lain, dengan studi kasus hubungan Stasiun Weleri-Krengseng. Sistem *remote reset* ini terdiri dari 2 alat, yaitu *client* (Stasiun Krengseng) dan *server* (Stasiun Weleri), yang mana antara *client* dan *server* dapat mengirim dan menerima data melalui komunikasi SPI pada ethernet, dengan menggunakan LAN (*Local AreaNetwork*). *Client* terhubung langsung dengan 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR), dan *button reset* (AzGrT), sehingga saat terjadi perubahan kondisi pada 2 variabel *error counting* tersebut, *client* dapat melakukan analisis perubahan kondisi 2 variabel *error counting* terhadap kondisi *track*, dan mengirimkannya sebagai *input* sistem *remote reset axle counter*, juga menerima *command reset server* untuk pemulihan kondisi *axle counter*.

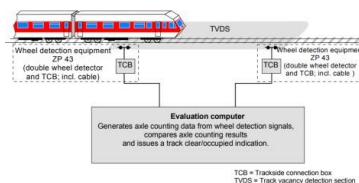
### B. Batasan Masalah

1. Optocoupler PC817 sebagai saklar pendeteksi kondisi level tegangan pada 2 variabel *error counter* (relay QNN1 dan LED RR).
2. Relay 5 Volt digunakan sebagai saklar yang melakukan fungsi *reset* pada *axle counter* melalui kontak relay yang terhubung dengan AzGrT.
3. Ethernet *client* yang difungsikan untuk mengirim *input* ke *server*, dan menerima *output* dari *server* dengan *controller* STM32F103C8T6.
4. *Pilot lamp* dan *buzzer lamp* sebagai indikator dan *alarm* kondisi hubungan *client* dan *server*, juga sebagai *alarm* kondisi *track*.
5. LCD I<sup>2</sup>C16x4 untuk menampilkan hasil kondisi *track* dari perubahan kondisi 2 variabel *error counting*.

Uji coba alat dalam hubungan Stasiun Weleri-Krengseng, dengan total 6 *track*, masing-masing terdapat 3 *track* untuk jalur barat (14AT, 14BT, dan 14CT), dan 3 *track* untuk jalur timur (44AT, 44BT, dan 44CT).

### C. Landasan Teori

Sistem penghitungan gandar kereta api didasarkan pada prinsip yang diilustrasikan di bawah ini :



Gambar 1 Prinsip kerja *axle counter* siemens Az S 350 U

Pada setiap ujung awal dan akhir dari setiap petak jalan ada sebuah *counting head*. *Axle counter* sendiri dibangun dari WDE (*Wheel Detection Equipements*) yang terdiri dari *counting head* dan TCB (*Trackside Connection Box*) yang terletak disamping rel kereta api, serta komputer evaluasi (*evaluator*) yang terletak didalam ACR (*Axle Counter Rack*). CH (*Counting head*) pada *axle counter* Siemens Az S 350

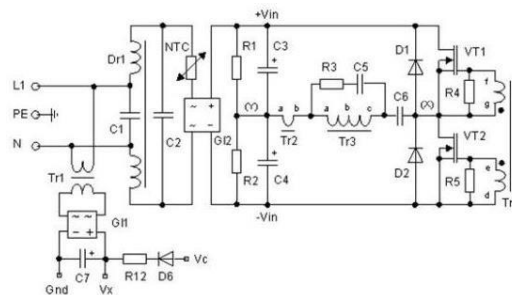
**Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**  
(Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto, : Halaman 63-79)

---

U berjenis *wheel sensor*, memanfaatkan perubahan medan elektromagnetik untuk mendeteksi gandar kereta api diatas permukaan rel, dengan maksimum nilai kecepatan kereta yang dapat terdeteksi adalah 400 Km/Jam, dan diameter gandar  $d \geq 865 \text{ mm}$  [4]. Sinyal hasil deteksi dari *counting head* akan diolah oleh TCB untuk menghilangkan *noise* yang mungkin timbul akibat panjang kabel transmisi dari *counting head* ke TCB, hingga menjadi sinyal bebas gangguan. Sinyal bebas gangguan tersebut kemudian akan dikirimkan ke *evaluator* untuk ditentukan status *clear*, *occupied*, atau *error counting* [1].

*Axle counter* bekerja dengan cara menghitung jumlah gandar (*axle*) kereta api yang masuk *track section* tertentu, dan membandingkan-nya dengan jumlah gandar (*axle*) roda kereta api yang meninggalkan *track section* tersebut sesuai arah dari perjalanan, dengan suatu sistem pendeteksi elektronik roda ganda (*an electronic double wheel-detectors system*). Apabila jumlah gandar yang masuk terhitung lebih besar dari pada jumlah gandar yang keluar, maka *track section* dinyatakan terduduki (*occupied*). Sedangkan saat jumlah gandar yang masuk terhitung sama dengan jumlah gandar yang keluar maka *track section* dinyatakan *clear*. Lalu jika gandar yang keluar dari *track section* terhitung lebih besar daripada jumlah gandar yang masuk, dapat dipastikan sistem mengalami gangguan perhitungan gandar kereta api *error counting* [2]. Ketiga kondisi track tersebut dapat diketahui melalui pemantauan perubahan kondisi level tegangan 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR) pada ACR (*Axle Counter Rack*).

### Komponen Utama Adaptor

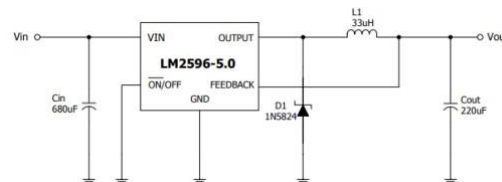


Gambar 2 Rangkaian Adaptor

Pada dasarnya adaptor merupakan termasuk ke dalam jenis *power supply switching*. Adaptor bekerja dengan mengubah tegangan 220 VAC dari PLN menjadi tegangan DC pada nilai tertentu. Disini penulis menggunakan adaptor dengan nilai tegangan *output* 24 Volt, 1A. Penggunaan adaptor oleh penulis sendiri difungsikan untuk memberikan supply tegangan pada *pilot lamp* dan *buzzer lamp*.

Adaptor akan terlebih dahulu mendapatkan sumber tegangan dari PLN 220 VAC, yang kemudian nilai tegangan ini akan masuk ke blok *unregulated* (dioda kiprox dan elco), di blok ini tegangan AC dirubah menjadi tegangan DC yang kemudian tegangan masuk ke blok *switching* (dapat berupa IC, transistor, mosfet). Setelah itu tegangan masuk ke bagian *inverter* (trafo inti ferrit), pada bagian ini akan kembali terjadi perubahan tegangan yang tadinya sudah tegangan DC diubah kembali menjadi tegangan AC, tetapi tegangan AC yang dihasilkan pada blok ini memiliki sifat yang berbeda dari tegangan AC sumber. Tegangan AC yang dihasilkan dari blok *inverter* kemudian masuk ke blok *regulated* (dioda *half wave*, penyearah dan elco), di blok ini akan kembali terjadi perubahan tegangan yang tadinya tegangan AC akan berubah menjadi tegangan DC. Tegangan ini kemudian baru masuk ke beban dan ada juga yang masuk ke blok komparator (bagian ini berupa IC dimana IC ini masih terletak satu bagian dengan bagian *power supply switching*). Dengan kerja tersebut, rangkaian *power supply switching* (adaptor) terbagi kedalam setiap bagian yang berbeda sesuai fungsi dari setiap komponen yang digunakan [3].

### Step Down DC-DC Converter



Gambar 3 Step down DC-DC converter 5 Volt

*Step down DC-DC converter* merupakan rangkaian yang berfungsi untuk menurunkan tegangan DC atau mengatur nilai tegangan *input* untuk menjadi tegangan dengan nilai yang sesuai dengan kebutuhan tegangan sistem. Rangkaian *step down DC-DC converter* terdiri dari IC LM2596, kapasitor, dan dioda SMD SS34 atau dioda *schottky* 1N5822.

Kapasitor pada rangkain di atas difungsikan sebagai *filtering capacitor* untuk mengurangi *ripple* dari tegangan *input* DC, dan sebagai penyimpan tegangan. Dioda *schottky* difungsikan sebagai pengkondisi sinyal dan *switching*, dengan nilai frekuensi *switching* yang dimiliki dioda *schottky* lebih besar dari dioda biasa, yaitu 150 KHz (*datasheet* dioda 1N5822). Sedangkan induktor difungsikan sebagai penyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melintasinya, dan membawanya pada kapasitor untuk menyimpan tegangan sebelum didistribusikan sebagai tegangan *input* pada sistem selanjutnya.

### STM32F103C8T6



Gambar 4 STM32F103C8T6

STM32F103C8T6 *bluepill Controller* yang digunakan *client* adalah STM32F103C8T6 bluepill. Mikrokontroler tersebut bersifat *open source* sehingga memudahkan pengguna dalam mengembangkan program, yang mana Dalam proses *programming*-nya, STM32F10C8T6 membutuhkan USB to TTL sebagai alat untuk berkomunikasi dengan perangkat eksternal. Mikrokontroler ini dapat beroperasi secara normal dengan level tegangan 3,3 Volt sampai dengan 5 Volt[4].

STM32F103C8T6 mengolah data *input* optocoupler *track* dan indikasi hasil pendeteksian level tegangan pada 2 variabel error counting (relay QNN1 dan LED RR), kemudian mengidentifikasinya sebagai data kondisi *track*, selain itu STM32F103C8T6 juga bertugas memberikan perintah pada perangkat *output* (*pilot lamp*, *buzzer lamp*, LCD, dan relay reset).

### WIZnet W5500 Ethernet Module



Gambar 5 WIZnet W5500 ethernet module

Media komunikasi yang digunakan oleh penulis dalam membangun komunikasi antara client dan server adalah WIZnet W5500 ethernet module. WIZnet W5500 *ethernet module* adalah sebuah *modul stand-alone ethernet controller* berbasis Microchip WIZnet W5500 yang berfungsi sebagai antarmuka dari serial SPI ke Ethernet. Modul ini memiliki kristal 25 MHz dengan ethernet RJ45 Jack HR911105A dan LED terintegrasi. WIZnet W5500 menggunakan metode transmisi *baseband* yang mentransmisikan sinyal secara serial 1 bit pada satu waktu[5].

#### **FRM220-10/100I Media Converter**



Gambar 6 FRM220-10/100I media converter

Karena jarak antara client dan server  $\pm 10$  Km, maka diperlukan tambahan media transmisi fiber optik dalam proses komunikasi data I/O. Output sinyal yang dihasilkan dari media komunikasi adalah dalam bentuk sinyal digital elektrik, sehingga untuk memenuhi syarat melakukan transmisi dalam fiber optik, diperlukan media konverter yang dapat melakukan konversi sinyaldigital elektrik menjadi sinyal optik. Media konverter yang digunakan oleh penulis adalah CTC Union FRM220- 10/100I.

CTC Union FRM220-10/100I merupakan *fiber optical mediaconverter*, atau media konverter yang berfungsi mengkonversikan sinyal listrik dari kabel UTP/STP menjadi sinyal optik yang dapat ditransmisi-kan ke dalam fiber optik, dan sebaliknya. CTC Union FRM220-10/100I memiliki pengertian *10/100Base-TX to 100Base-FX In- band managed converter card*, yang dengan kemampuannya yang dapat melakukan konversi 10/100Base-TXethernet menjadi 100Base-FX (*Fast Fiber*, 100Mbps) *converter* dengan maksimum nilai *transmission of ethernet* hingga 2046Byte untuk 1 kali transmisi[6].

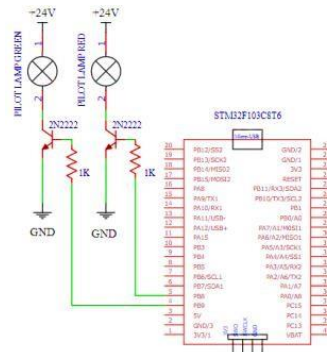
#### **Fiber Optik**



Gambar 7 Fiber Optik

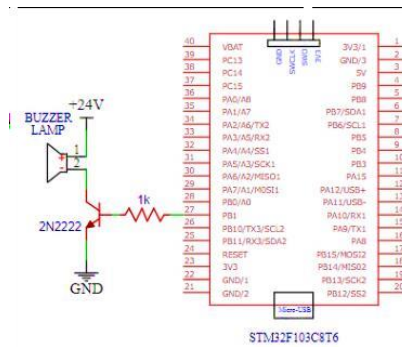
Fiber optik atau serat optik adalah alat optik yang berguna untuk mentransmisikan informasi melalui media cahaya. Teknologi ini melakukan perubahan sinyal listrik ke dalam sinyal cahaya yang kemudian disalurkan melalui seratoptik dan selanjutnya di konversikembali menjadi sinyal listrik pada bagian penerima[7].

**Rangkaian Pilot Lamp** Rangkaian *pilot lamp* terdiri dari *pilot lamp green* dan *red*, serta rangkaian transistor sebagai penguat. *Pilot lamp* sebagai indikator ini menggunakan tegangan 24 Volt sebagai sumber tegangan. *Pilot lamp green* berfungsi sebagai indikator keberhasilan konektivitas antara client dan server (*online*), sedangkan *pilotlamp merah* berfungsi sebagai indakator kegagalan konektivitas antara client dan server (*offline*).



Gambar 8 Rangkaian *Pilot Lamp*

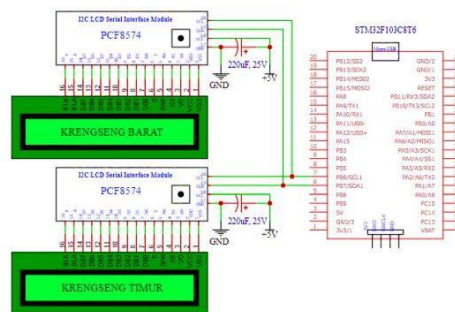
### Rangkaian *Buzzer Lamp*



Gambar 9 Rangkaian *buzzer lamp*

Rangkaian *buzzer lamp* terdiri dari *buzzer lamp*, transistor sebagai penguat tegangan, dan dioda 1N4007 sebagai pengaman *buzzer lamp*. *Buzzer lamp* sebagai indikator ini menggunakan tegangan 24 Volt sebagai sumber tegangan. *Buzzer lamp* akan *ON* selama 2000ms saat *client* dan *server* dalam kondisi *online* (konektivitas berhasil), dan adanya kondisi terduduki pada *track* Stasiun Krengseng. Sedangkan *buzzer lamp* akan *ON* secara *continue* saat terjadi kondisi *error counting* pada *axle counter* Stasiun Krengseng, yang menyebabkan *track* menjadi *error*.

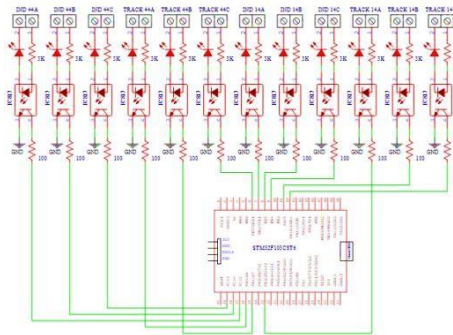
### Rangkaian LCD I<sup>2</sup>C 16x2



Gambar 10 Rangkaian LCD I<sup>2</sup>C 16x2

Rangkaian LCD I<sup>2</sup>C 16x2 terdiri dari LCD 16x2, modul I<sup>2</sup>C PCF8574, dan kapasitor dengan nilai 220uF, 25 Volt yang berfungsi sebagai penyimpan tegangan. Penggunaan modul I<sup>2</sup>C PCF8574 ini bertujuan untuk memperkecil jumlah *wiring* yang terhubung dengan mikrokontroler STM32F103C8T6 yang digunakan penulis, juga penyusunan kedua LCD secara paralel membuat pin yang terhubung pada STM32F103C8T6 lebih sedikit untuk jalur SDA dan SCL. LCD I<sup>2</sup>C 16x2 ini digunakan penulis sebagai *monitor* yang akan menampilkan kondisi *track* hasil analisis dari perubahan kondisi tegangan 2 variabel *error counting* yang terdeteksi oleh optocoupler PC817.

### Rangkaian Optocoupler PC817

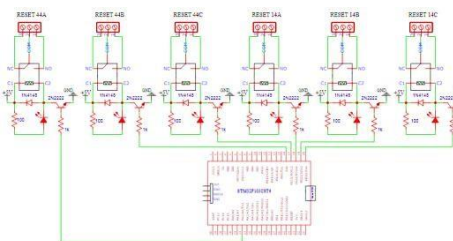


Gambar 11 Rangkaian optocoupler

Rangkaian optocoupler *track* terdiri dari optocoupler PC817, resistor, dan LED. Pada proses pemasangannya, optocoupler yang berfungsi sebagai *input* sistem *remoterreset axle counter*, akan terhubung dengan 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR) melalui terminal mokau pada ACR (*Axle Counter Rack*). Dengan proses pemasangan tersebut, maka terdapat 2 fungsi optocoupler yang dalam rangkaian alat yang dibuat penulis, yaitu sebagai pendeteksi nilai tegangan pada relay QNN1 (optocoupler *track*), dan pendeteksi nilai tegangan pada LED RR (optocoupler indikasi).

Hasil pendeteksian optocoupler akan digunakan untuk menentukan kondisi *axle counter* terhadap *track*. Terdapat 3 jenis kondisi *axle counter* terhadap *track*, yaitu pertama kondisi *track clear*, yang dihasilkan karena *axle counter* mendeteksi bahwa tidak ada gandar yang melintasi *track* tersebut, dimana optocoupler *track* mendeteksi nilai tegangan 24 Volt dari relay QNN1 dan optocoupler indikasi mendeteksi nilai tegangan 0 Volt pada LED RR. Kedua, kondisi *track* terduduki, yang dihasilkan karena *axle counter* mendeteksi adanya gandar yang melintas *track* tersebut, dimana optocoupler *track* mendeteksi nilai tegangan 0 Volt dari relay QNN1 dan optocoupler indikasi mendeteksi nilai tegangan 0 Volt pada LED RR. Terakhir, kondisi *track error*, yang dihasilkan karena adanya kondisi *error counting* (kegagalan perhitungan) pada *axle counter*, di mana optocoupler *track* mendeteksi nilai tegangan 0 Volt dari relay QNN1 dan optocoupler indikasi mendeteksi nilai tegangan 24 Volt pada LED RR.

### Rangkaian Relay



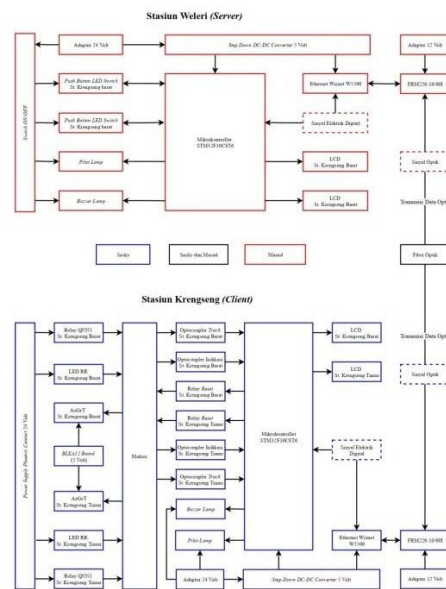
Gambar 12 Rangkaian Relay

Rangkaian relay terdiri dari relay 5 Volt, *driver* relay, dioda 1N4148 yang terhubung langsung dengan *coil* dan LED indikator. Penambahan rangkaian *driver* relay dibutuhkan karena arus yang dibutuhkan untuk membuat relay dapat menggerakkan beban 5 Volt adalah sebesar 89,3 mA, sedangkan arus *output* dari STM32F103C8T6 adalah 18,7 mA, maka penambahan *driver* relay akan menguatkan *output* mikro kontroler agar sesuai dengan kebutuhan *coil* relay. Pada proses pemasangannya, relay sebagai output sistem remote reset axle counter, akan terhubung dengan *button reset* (AzGrT) melalui terminal mokau pada ACR (*Axle Counter Rack*). Relay akan mendapat *high logic trigger*, saat alat pada Stasiun Krengseng (*client*) menerima *command reset* dari server, sebagai bentuk pemulihan kembali *axle counter* dari kondisi *error counting*.

## II. METODE

Salah satu contoh perkembangan teknologi dalam sistem pensinyalan di Indonesia adalah penggunaan fasilitas pendeteksi pada jalur rel berupa *axle counter* dan *track circuit* yang digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya fasilitas kereta api di jalur kereta api[8]. Tujuan dari alat ini adalah dapat melakukan pemantauan kondisi-kondisi *axle counter* terhadap *track* pada Stasiun Krengseng secara *real time* dari Stasiun Weleri sebagai stasiun pusat resor 4.4, juga dapat melakukan reset dari jarak jauh. Secara konsep, alat ini dirancang sebagai I/O dalam sistem *remote reset axle counter*, yang akan terpasang pada Stasiun Krengseng. Alat ini akan terhubung dengan 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR), dan *button reset* (AzGrT) melalui terminal mokau pada ACR (*Axle Counter Rack*). Terhubungnya alat dengan 2 variabel *error counting* berfungsi untuk mendapat informasi kondisi *axle counter* terhadap *track*, yang kemudian kondisi tersebut akan dikirimkan kepada server sebagai input sistem *remote reset axle counter*. Saat server menerima adanya kondisi *error counting* yang menyebabkan *track* menjadi *error*, dan tidak dapat dilintasi, maka server akan mengirimkan *command reset* kepada *client*, yang kemudian disebut sebagai *output* sistem *remote reset axle counter*. *Command reset* yang diterima oleh *client*, kemudian akan membuat kondisi relay berubah dari NC menjadi NO, begitu juga dengan kondisi pada *button reset* (AzGrT). Saat reset berhasil dilakukan, *axle counter* dapat bekerja normal, *track* dapat dilintasi kembali oleh kereta api, dan informasi ini akan dikirimkan kepada server.

### Blok Diagram



Gambar 12 Blok diagram alat

Bagian-bagian blok diagram tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :

1. Pada *client*, digunakan sumber tegangan dari adaptor 24 Volt untuk memberikan *supply* tegangan pada *pilot lamp* dan *buzzer lamp*, sedangkan komponen yang lainnya menggunakan sumber tegangan 5Volt dari hasil konversi tegangan 24 Volt ke 5 Volt *step down DC- DC converter*.
2. *Pilot lamp*, *buzzer lamp*, dan LCD merupakan output dari alat pada Stasiun Krengseng (*client*), dimana *pilot lamp* dan *buzzer lamp* digunakan sebagai indikator kondisi konektivitas antara *client* dan *server*, juga *buzzer lamp* digunakan sebagai indikator kondisi *track*, sedangkan LCD digunakan untuk menampilkan hasil monitoring kondisi *axle counter* terhadap *track* pada Stasiun Krengseng.
3. Kerja dari *client* diawali dari pendeteksian kondisi level tegangan pada relay QNN1 dan LED RR dengan menggunakan optocoupler PC817.
4. Optocoupler PC817 difungsikan sebagai *input* dari sistem *remote reset axle counter* Az S 350 U terhubung langsung dengan 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR), dan *button reset* (AzGrT) melalui mokau.

**Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**  
**(Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto, : Halaman 63-79)**

---

5. Dua variabel *error counting* tersebut mendapat *supply* tegangan 24 Volt dari *powersupply phoenix contact* yang ada pada ACR (*Axle Counter Rack*), sedangkan button reset (*AzGrT*) mendapatkan *supply* tegangan 5Volt dari *BLEA12 board*.
6. Optocoupler *track* akan mendeteksi kondisi level tegangan pada relay QNN1, dan optocoupler indikasi akan mendeteksi kondisi level tegangan pada LED RR.
7. Hasil pendeteksian tegangan oleh kedua optocoupler tersebut kemudian akan dianalisis untuk ditentukan kondisi pada *axle counter*, dan *display* LCD akan menampilkan hasil analisis perubahan kondisi tegangan pada 2 variabel *error counting* terhadap kondisi *track*.
8. Hasil analisis tersebut kemudian juga akan dikirimkan *client* untuk *server* melalui media komunikasi dan transmisi.
9. Sebelum ditransmisikan, *output* dari mikrokontroler yang berupa sinyal elektrik digital akan dikonversikan menjadi sinyal optik dengan FRM220-10/100I (FRM220-10/100I mendapat tegangan 12 Volt dari adaptor).
10. Sinyal optik hasil dari konversi akan ditransmisikan melalui serat optik sebagai data optik hasil deteksi kondisi *track* oleh *axle counter*.
11. Apabila hasil analisis menyebutkan terjadi kondisi *error track* akibat *error counting*, maka *server* akan mengirimkan *command reset* untuk pemulihan kondisi *axle counter*.
12. *Command reset* akan diterimalangsung oleh relay, kemudian kontak NO dan COM relay yang terhubung dengan *AzGrT* akan menghasilkan kondisi *normally close*.
13. Saat *reset axle counter* berhasil, kondisi level tegangan pada relay QNN1 dan LED RR kembali normal pada level tegangan 24 Volt dan 0 Volt.
14. Hasil keberhasilan *reset* membuat *track* dalam kondisi *clear* karena kondisi *axle counter* kembali normal, dan informasi ini akan dikirimkan kembali untuk *server*, sebagai data kondisi normal *axle counter*.

#### Cara Kerja Alat

Tabel 1 Kondisi input sistem remote reset axle counter Az S 350 U

| No. | Level Tegangan Relay QNN1 | Logika Optocoupler Track | Logika Optocoupler Indikasi | Level Tegangan LED RR | Status                        | Buzzer Lamp | Display LCD       |
|-----|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------|-------------------|
| 1.  | 24 Volt                   | Low                      | High                        | 0 Volt                | Clear                         | OFF         | "Track Clear"     |
| 2.  | 0 Volt                    | High                     | High                        | 0 Volt                | Terduduki                     | ON 2000 ms  | "Track Terduduki" |
| 3.  | 0 Volt                    | High                     | Low                         | 24 Volt               | Error                         | ON          | "Track Error"     |
| 4.  | 24 Volt                   | Low                      | Low                         | 24 Volt               | Kondisi tidak mungkin terjadi |             |                   |

Tabel 2 Kondisi indikator konektivitas client dan server

| No. | Status  | Pilot Lamp Green | Pilot Lamp Red | Buzzer Lamp |
|-----|---------|------------------|----------------|-------------|
| 1.  | Offline | OFF              | ON             | OFF         |
| 2.  | Online  | ON               | OFF            | ON 2000 ms  |

Kerja alat pada Stasiun Krengseng (*client*) dan Stasiun Weleri diawali dengan pemberian tegangan 24 Volt dari adaptor 24/10 untuk rangkaian. Tegangan 24 Volt dimanfaatkan untuk *supply* tegangan pada kedua *pilot lamp* (*red* dan *green*), dan *buzzer lamp*, sedangkan komponen lainnya menggunakan *supply*

tegangan 5 Volt dari *step down DC- DC converter*, termasuk *controller* (STM32F103C8T6) dan media komunikasi (WIZnet W5500 *ethernet module*).

Kerja dari alat pertama kali adalah membentuk konektivitas antara *client* dan *server* untuk proses komunikasi data. Terdapat 2 jenis status yang dihasilkan dari hasil kondisi konektivitas antara *client* dan *server*, yaitu status *offline* dan *online*. *Client* dan *server* dikatakan dalam status *offline*, saat kedua alat tersebut dalam kondisi tidak terhubung satu sama lain (konektivitas gagal), LCD pada *client* dan *server* akan menampilkan *display* “Offline” dan *pilot lamp red ON*, sebagai tanda tidak terhubungnya kedua alat tersebut (*disconnected*). Sedangkan alat dapat dikatakan dalam status *online*, saat kedua alat tersebut dalam kondisi terhubung satu sama lain (konektivitas berhasil), LCD pada *client* dan *server* akan menampilkan *display* “Online”, dan indikator keberhasilan konektivitas *client* dan *server* mendapatkan sinyal *high logic trigger* dari STM32F103C8T6, tanda terhubungnya kedua alat tersebut (*connected*) (tabel 2). Setelah adanya status *online*, kedua alat tersebut dapat melakukan pengiriman dan penerimaan data dari *client* untuk *server* maupun sebaliknya.

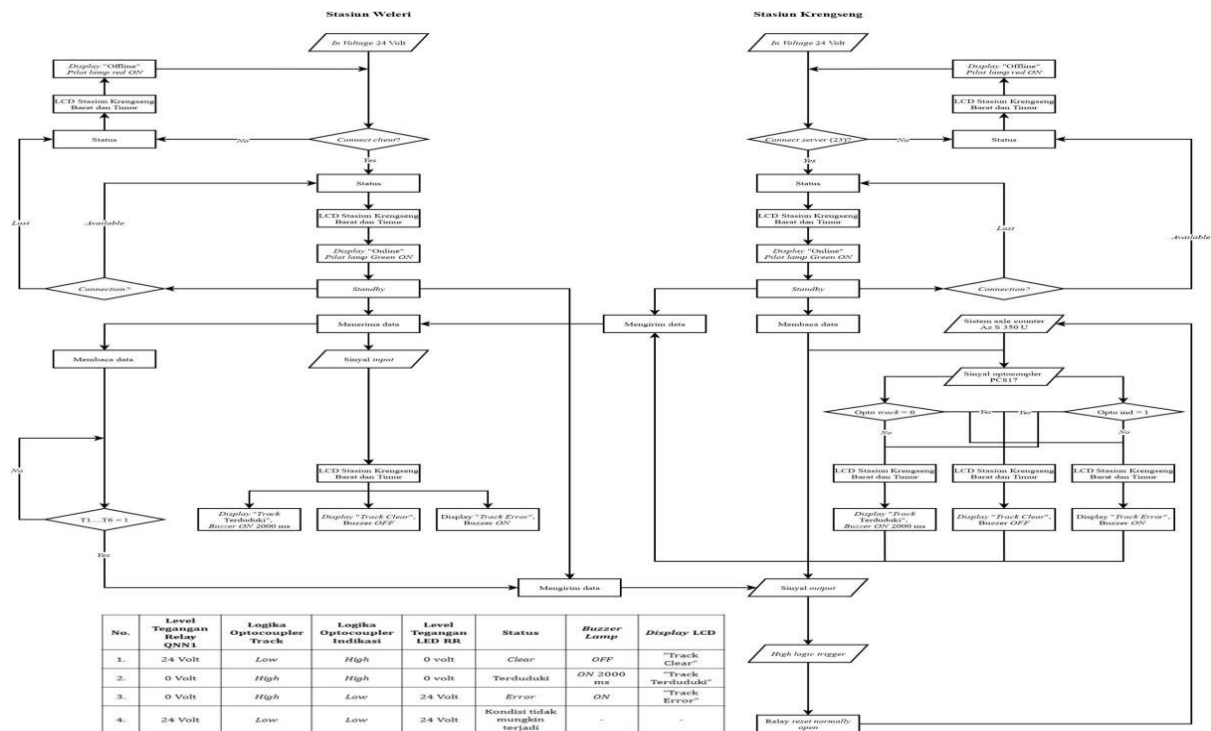
Setelah membentuk koneksi antara *client* dan *server*, *client* dan *server* kemudian akan menjalankan fungsinya untuk melakukan pembacaan dan pengiriman data. Pada bagian *client*, fungsi pembacaan data dilakukan pada sinyal *input* yang dihasilkan oleh optocoupler PC817, dan sinyal *output command reset* dari *server*. Sedangkan pada fungsi pengiriman data, *client* akan melakukan mengirimkan data *input* hasil pembacaan STM32F103C8T6 pada *server*, dan dari pengiriman data ini *server* akan menjalankan fungsinya dalam melakukan pembacaan data *input* dari transmisi sinyal *input* dari *client*. Selain pembacaan sinyal *input*, *server* juga melakukan fungsinya dalam pembacaan sinyal yang dihasilkan *button reset* dan pengiriman data *output* kepada *client*.

Terdapat 3 jenis kondisi (tabel 1) yang dihasilkan dari perubahan kondisi level tegangan pada 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LEDRR), yang kemudian akan ditampilkan pada masing-masing LCD (Stasiun Krengseng Barat dan Timur). Ketiga kondisi tersebut, yaitu kondisi *clear* dengan optocoupler *track* mengirimkan sinyal *low* kepada mikrokontroler STM32F103C8T6, dan optocoupler indikasi mengirimkan sinyal *high*. Kemudian kondisi terduduki, dengan optocoupler *track* mengirimkan sinyal *high* kepada mikrokontroler STM32F103C8T6, dan optocoupler indikasi mengirimkan sinyal *high*. Kondisi terduduki ini membuat mikrokontroler mengeluarkan sinyal *high logic trigger* kepada *buzzer lamp*, dan *buzzer lamp ON* selama 2000 ms. Kondisi terakhir, yaitu kondisi *error*, dengan optocoupler *track* mengirimkan sinyal *high* kepada STM32F103C8T6, dan optocoupler indikasi mengirimkan sinyal *low*. Pada kondisi *error*, mikrokontroler STM32F103C8T6 akan mengeluarkan sinyal *high logic trigger* kepada *buzzer lamp* secara *continue*, sehingga saat tidak ada tindakan *reset* dari *server* terhadap *axle counter* (*client* tidak menerima *command reset server*), maka *buzzer lamp* akan tetap *ON* selama tidak dilakukan pemulihan (*reset*) *axle counter*.

Ketiga kondisi tersebut kemudian akan diterima oleh *server*, dan saat *server* menerima data adanya kondisi *error track*, *server* akan mengirimkan *command reset* kepada *client*, dengan menekan *button reset server* beberapa saat. Setelah menekan *button reset* beberapa saat, *server* akan membaca kondisi *button* yang ditekan terlebih dahulu, sehingga data yang akan dikirimkan *server* untuk *client* berupa data kondisi keenam *button reset* (*high* dan *low*). *Client* akan menerima sinyal *output* hasil pembacaan keenam *button reset* sebagai sinyal digital *input high logic* kepada mikrokontroler STM32F103C8T6. Sinyal *input* tersebut kemudian menghasilkan kondisi *normally open* pada relay *reset* 5 Volt. Karena kaki NO dan COM pada relay terhubung dengan *mokau* pada alamat AzGrT, sehingga *floating relay* di dalam BLEA12 board akan dalam kondisi *normally close*, BLEA12 board dapat mengalirkan tegangan kembali, dan sistem *axle counter* kembali normal, *display LCD* menampilkan kondisi *track clear* kembali, begitu dengan *server*, dan kondisi indikatornya (tabel 2).

**Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**  
(Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto, : Halaman 63-79)

Bentuk *flowchart* dari sistem remote reset axle counter Az S 350 U dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Flowchart alat

### III. HASIL DAN DISKUSI

#### A. Pengujian Kecepatan Pengiriman Data Input

Pengukuran kecepatan pengiriman data *input client* berfungsi untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengirimkan data *input kondisitrack* dari *client* untuk *server*.

Tabel 3 Hasil pengujian kecepatan pengiriman data *input*

| No. | Status                                                   |                                    | Pengukuran Waktu Transmisi |
|-----|----------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
|     | Kondisi                                                  | Objek Track                        |                            |
| 1.  | Terduduki 3 track<br>(Stasiun Krengseng Barat dan Timur) | 14AT, 14BT, 44CT                   | 3,31 detik                 |
| 2.  | Error 2 track<br>(Stasiun Krengseng Barat dan Timur)     | 14AT, 144CT                        | 3,35 detik                 |
| 3.  | Track Clear<br>(Stasiun Krengseng Barat)                 | 14AT, 14BT, 14CT, 44AT, 44BT, 44CT | 3,34 detik                 |

#### B. Pengujian Kecepatan Respond Time Command Reset Server

Pengukuran kecepatan *respondtime command reset server* terhadap keberhasilan reset bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan *relay reset* untuk me-*respond* dari tindakan *remote reset* yang

dilakukan oleh server, hingga adanya indikasi keberhasilan *reset error counting axlecounter*, dengan adanya kondisi *clear* pada *track*.

Tabel 4 Hasil pengujian kecepatan *respond time command reset server*

| Pengujian | Objek                                             | Pengukuran                |                   |
|-----------|---------------------------------------------------|---------------------------|-------------------|
|           |                                                   | <i>Respond Time Relay</i> | Total Waktu Relay |
| I         | 14AT                                              | 0,69 detik                | 2,81 detik        |
| II        | 44AT,<br>44BT,<br>44CT                            | 0,76 detik                | 2,81 detik        |
| III       | 14AT,<br>14BT,<br>14CT,<br>44AT,<br>44BT,<br>44CT | 0,71 detik                | 2,86 detik        |

### C. Pengujian Hasil Pendeteksian Optocoupler PC817 Terhadap Kondisi Track

Pengujian optocoupler PC817 bertujuan untuk mengetahui validasi (kesesuaian) data kondisi *axle counter* terhadap *track* Stasiun Krenseng, yang dihasilkan dari pendeteksian level tegangan 2 variabel *error counting* oleh optocoupler PC817, dengan kondisi sebenarnya.

Tabel 5 Hasil pengujian pendeteksian optocoupler PC817 terhadap kondisi *track* Stasiun Krenseng Barat

| Stasiun Kreseng Barat |         |     |     |                   |   |     |   |     |   |                                   |
|-----------------------|---------|-----|-----|-------------------|---|-----|---|-----|---|-----------------------------------|
| No.                   | Kondisi |     |     | Optocoupler PC817 |   |     |   |     |   | Display LCD                       |
|                       |         |     |     | 14A               |   | 14B |   | 14C |   |                                   |
|                       | 14A     | 14B | 14C | T                 | I | T   | I | T   | I |                                   |
| 1                     | 0       | 0   | 0   | L                 | H | L   | H | L   | H | "TRACK<br>CLEAR"                  |
| 2                     | 1       | 0   | 0   | H                 | H | L   | H | L   | H | "14AT<br>TERDUDUKI"               |
| 3                     | 0       | 1   | 0   | L                 | H | H   | H | L   | H | "14BT<br>TERDUDUKI"               |
| 4                     | 0       | 1   | 1   | L                 | H | H   | H | H   | H | "14BT 14CT<br>TERDUDUKI"          |
| 5                     | 0       | 0   | 1   | L                 | H | L   | H | H   | H | "14CT<br>TERDUDUKI"               |
| 6                     | 2       | 2   | 2   | H                 | L | H   | L | H   | L | "TRACK<br>ERROR"                  |
| 7                     | 2       | 0   | 0   | H                 | L | L   | H | L   | H | "14AT<br>ERROR"                   |
| 8                     | 0       | 2   | 0   | L                 | H | H   | L | L   | H | "14BT<br>ERROR"                   |
| 9                     | 0       | 0   | 2   | L                 | H | L   | H | H   | L | "14CT<br>ERROR"                   |
| 10                    | 2       | 2   | 0   | H                 | L | H   | L | L   | H | "14AT 14BT<br>ERROR"              |
| 11                    | 0       | 2   | 2   | L                 | H | H   | L | H   | L | "14BT 14CT<br>ERROR"              |
| 12                    | 0       | 2   | 1   | L                 | H | H   | L | H   | H | "14BT<br>ERROR 14CT<br>TERDUDUKI" |

**Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**  
**(Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto, : Halaman 63-79)**

|    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |                                        |
|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----------------------------------------|
| 13 | 2 | 1 | 0 | H | L | H | H | L | H | "14AT<br>ERROR 14BT<br>TERDUDUKI"      |
| 14 | 2 | 2 | 1 | H | L | L | L | H | H | "14AT 14BT<br>ERROR 14CT<br>TERDUDUKI" |

Tabel 6. Hasil pengujian pendeteksian optocoupler PC817 terhadap kondisi *track* Stasiun Krengseng Timur

| Stasiun Kreseng Barat |         |     |     |                   |   |     |   |     |   |                                        |
|-----------------------|---------|-----|-----|-------------------|---|-----|---|-----|---|----------------------------------------|
| No.                   | Kondisi |     |     | Optocoupler PC817 |   |     |   |     |   | Display LCD                            |
|                       |         |     |     | 44A               |   | 44B |   | 44C |   |                                        |
|                       | 44A     | 44B | 44C | T                 | I | T   | I | T   | I |                                        |
| 1                     | 0       | 0   | 0   | L                 | H | L   | H | L   | H | "TRACK<br>CLEAR"                       |
| 2                     | 0       | 0   | 1   | L                 | H | L   | H | H   | H | "44CT<br>TERDUDUKI"                    |
| 3                     | 0       | 1   | 1   | L                 | H | H   | H | H   | H | "44BT 44CT<br>TERDUDUKI"               |
| 4                     | 0       | 1   | 0   | L                 | H | H   | H | L   | H | "44BT<br>TERDUDUKI"                    |
| 5                     | 1       | 1   | 0   | H                 | H | H   | H | L   | H | "44AT 44BT<br>TERDUDUKI"               |
| 6                     | 1       | 0   | 0   | H                 | H | L   | H | L   | H | "44AT<br>TERDUDUKI"                    |
| 7                     | 2       | 2   | 2   | H                 | L | H   | L | H   | L | "TRACK<br>ERROR"                       |
| 8                     | 0       | 0   | 2   | L                 | H | L   | H | H   | L | "44CT<br>ERROR"                        |
| 9                     | 0       | 2   | 0   | L                 | H | H   | L | L   | H | "44BT<br>ERROR"                        |
| 10                    | 2       | 0   | 0   | H                 | L | L   | H | L   | H | "44AT<br>ERROR"                        |
| 11                    | 0       | 2   | 2   | L                 | H | H   | L | H   | L | "44BT 44CT<br>ERROR"                   |
| 12                    | 2       | 2   | 0   | H                 | L | H   | L | L   | H | "44AT 44BT<br>ERROR"                   |
| 13                    | 1       | 2   | 0   | H                 | H | H   | L | L   | H | "44BT<br>ERROR 44AT<br>TERDUDUKI"      |
| 14                    | 0       | 1   | 2   | L                 | H | H   | L | H   | H | "44CT<br>ERROR 44BT<br>TERDUDUKI"      |
| 15                    | 1       | 2   | 2   | H                 | H | H   | L | H   | L | "44BT 44CT<br>ERROR 44AT<br>TERDUDUKI" |

Keterangan :

Kondisi 0 : Clear

Kondisi 1 : Terduduki

Kondisi 2 : Error

T : Optocoupler track

I

: Optocoupler indikasi

H

: logika high (1)

L

: Logika low (0)

*D. Pengujian Komunikasi Data I/O*

Pengujian komunikasi data bertujuan untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data input dari *client* untuk *server*, dan penerimaan data *output* dari *server* untuk *client*.

Tabel 7 Hasil pengujian komunikasi data *input*

| Pengujian : 15 Januari 2021 |       |                          |            |          |        |
|-----------------------------|-------|--------------------------|------------|----------|--------|
| No                          | Waktu | Data Terkirim            | Pengamatan |          | Sukses |
|                             |       |                          | LED WIZnet | LED FRM  |        |
| 1                           | 08.50 | 14AT TDD                 | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 2                           | 08.56 | 14AT, 14BT TDD           | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 3                           | 08.53 | 14BT TDD                 | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 4                           | 08.59 | 14BT, 14CT TDD           | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 5                           | 09.03 | 14CT TDD                 | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| Pengujian : 16 Januari 2021 |       |                          |            |          |        |
| No                          | Waktu | Data Terkirim            | Pengamatan |          | Sukses |
|                             |       |                          | LED WIZnet | LED FRM  |        |
| 6                           | 10.51 | 14CT, 44CT TDD           | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 7                           | 10.55 | 14CT, 44BT TDD, 44CT ERR | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 8                           | 11.00 | 44AT, 44BT TDD           | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| Pengujian : 17 Januari 2021 |       |                          |            |          |        |
| No                          | Waktu | Data Terkirim            | Pengamatan |          | Sukses |
|                             |       |                          | LED WIZnet | LED FRM  |        |
| 9                           | 08.55 | 14AT ERR, 14BT, 14CT TDD | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 10                          | 09.03 | 14CT, 44CT TDD           | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 11                          | 09.08 | 14CT, 44BT TDD, 44CT ERR | Berkedip   | Berkedip | Ya     |

Tabel 8 Hasil pengujian komunikasi data *output*

| Pengujian : 16 Januari 2021 |       |  |            |        |
|-----------------------------|-------|--|------------|--------|
| No                          | Waktu |  | Pengamatan | Sukses |

**Implementasi Optocoupler PC817 dan Relay Sebagai I/O Sistem Remote Reset AXLE Couter AZ S 350 U Menggunakan STM32F103C8T6 dengan Ethernet Client untuk Hubungan Stasiun Weleri-Krengseng**  
**(Sasky Oktafian Nabilla, Eko Ariyanto, : Halaman 63-79)**

|                             |       | Data Terkirim | LED WIZnet | LED FRM  |        |
|-----------------------------|-------|---------------|------------|----------|--------|
| 1                           | 11.56 | 44CT RST      | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| Pengujian : 17 Januari 2021 |       |               |            |          |        |
| No                          | Waktu | Data Terkirim | Pengamatan |          | Sukses |
|                             |       |               | LED WIZnet | LED FRM  |        |
| 2                           | 08.56 | 14AT RST      | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 3                           | 09.04 | 44CT RST      | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| Pengujian : 18 Januari 2021 |       |               |            |          |        |
| No                          | Waktu | Data Terkirim | Pengamatan |          | Sukses |
|                             |       |               | LED WIZnet | LED FRM  |        |
| 4                           | 13.25 | 44CT RST      | Berkedip   | Berkedip | Ya     |
| 5                           | 22.32 | 44BT RST      | Berkedip   | Berkedip | Ya     |

Keterangan :  
TDD : Terduduki  
ERR : Error  
RST : Reset

**E. Pengujian Relay Reset**

Pengujian relay bertujuan untuk mengetahui keberhasilan relay dalam me-respond tindakan *remote reset* dan melakukan *reset*, dengan adanya indikasi perubahan dari kondisi NC ke NO dan NO ke NC untuk masing- masing Stasiun Krengseng Barat dan Timur.

Tabel 9 Hasil pengujian *relay Reset* Stasiun Krengseng Barat

| No | Pengamatan |     |     |               |     |     | Sukses Reset | Keterangan                   |
|----|------------|-----|-----|---------------|-----|-----|--------------|------------------------------|
|    | Trigger    |     |     | Kondisi Relay |     |     |              |                              |
|    | 14A        | 14B | 14C | 14A           | 14B | 14C |              |                              |
| 1  | H          | L   | L   | NO            | NC  | NC  | Ya           | Reset track 14A              |
| 2  | L          | H   | L   | NC            | NO  | NC  | Ya           | Reset track 14B              |
| 3  | L          | L   | H   | NC            | NC  | NO  | Ya           | Reset track 14C              |
| 4  | H          | H   | L   | NO            | NO  | NC  | Ya           | Reset track 14A dan 14B      |
| 5  | L          | H   | H   | NC            | NO  | NO  | Ya           | Reset track 14B dan 14C      |
| 6  | H          | L   | H   | NO            | NC  | NO  | Ya           | Reset track 14A dan 14C      |
| 7  | H          | H   | H   | NO            | NO  | NO  | Ya           | Reset track 14A, 14B dan 14C |

Tabel 10. Hasil pengujian relay reset Stasiun Krengseng Timur

| No | Pengamatan |     |     |               |     |     | Sukses Reset | Keterangan                   |
|----|------------|-----|-----|---------------|-----|-----|--------------|------------------------------|
|    | Trigger    |     |     | Kondisi Relay |     |     |              |                              |
|    | 44A        | 44B | 44C | 44A           | 44B | 44C |              |                              |
| 1  | H          | L   | L   | NO            | NC  | NC  | Ya           | Reset track 44A              |
| 2  | L          | H   | L   | NC            | NO  | NC  | Ya           | Reset track 44B              |
| 3  | L          | L   | H   | NC            | NC  | NO  | Ya           | Reset track 44C              |
| 4  | H          | H   | L   | NO            | NO  | NC  | Ya           | Reset track 44A dan 44B      |
| 5  | L          | H   | H   | NC            | NO  | NO  | Ya           | Reset track 44B dan 44C      |
| 6  | H          | L   | H   | NO            | NC  | NO  | Ya           | Reset track 44A dan 44C      |
| 7  | H          | H   | H   | NO            | NO  | NO  | Ya           | Reset track 44A, 44B dan 44C |

#### IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

1. Pada alat ini, optocoupler PC817 digunakan sebagai saklar pendeteksi kondisi level tegangan pada 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR), sedangkan relay digunakan sebagai saklar reset yang terhubung langsung dengan *button reset* (AzGrT) pada system *axle counter* Az S 350 U
2. Saat optocoupler *track* dan indikasi mendeteksi level tegangan 24 Volt dari relay QNN1 dan 0 Volt dari LED RR, mengindikasikan bahwa *track* sedang melintasi suatu *track* (*track* terduduki), dan *axle counter* melakukan fungsinya untuk mendeteksi gandar kereta api yang melintasi *track* tersebut.
3. Sedangkan saat kondisi *error counting* terjadi, optocoupler *track* dan indikasi mendeteksi level tegangan 0 Volt dari relay QNN1 dan 24 Volt dari LED RR, dengan kondisi normal 2 variabel *error counting* (relay QNN1 dan LED RR) pada level tegangan 24 Volt dan 0 Volt (*track clear*).
4. Dalam kondisi *error counting*, *track* tidak dapat dilintasi oleh kereta api, karena *axle counter* bekerja secara tidak normal (status *track error*).
5. Data *input* sistem *remote reset* (hasil deteksi *track* oleh optocoupler) akan dikirimkan dari *client* untuk *server* menggunakan media komunikasi WIZnet W5500 dan media transmisi fiber optik.
6. Terdapat 225 kemungkinan kondisi pengiriman paket data *input* dari *client* untuk *server*, dengan masing-masing kemungkinan kondisi tersebut akan ditampilkan pada *display* LCD untuk Stasiun Krengseng Barat dan Timur.
7. Untuk melakukan transmisi data *input* dari *client* untuk *server*, dibutuhkan waktu < 4 detik untuk 1 kali transmisi, sedangkan total waktu yang diperlukan untuk melakukan *remote reset* dari Stasiun Weleri ke Stasiun Krengseng adalah < 3 detik, dengan waktu < 1 detik untuk relay *reset* *respond command reset* dari *server*.
8. Keberhasilan dalam melakukan *remote reset* dapat diketahui dari *display* LCD yang menampilkan kondisi "Track Clear" atau *track* dapat diizinkan untuk dilintasi kembali, dan indikator *error counting* (*buzzer lamp*) dalam kondisi OFF.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. 2004. *Axle Counter*. Bandung: PT Kereta Api Indonesia (Persero).
- [2] Anonim. 2016. *Diskripsi Sistem AzS 350 U*. Bandung: PT Kereta Api Indonesia (Persero).
- [3] Isnendi, Tri Atiyah. *Perancangan Dan Implementasi Sistem Pemeliharaan Otomatis Hidroponik Menggunakan Mikrokontroler Berbasis Arduino Uno ATmega328*. Diss. Politeknik Negeri Sriwijaya, 2020.
- [4] Astuti, Wydia July. *Perancangan Sistem Smart Keyless Pada Lemari Penyimpanan Berbasis STM32*. Diss. Universitas Sumatra Utara, 2019.
- [5] WIZnet. (2013). *Data sheet WIZnet W5500*.
- [6] CTCU. (2021). *Datasheet CTC Union FRM220-10/100I Media Converter*
- [7] Utoyo, Handy Prianto. "Uji Sensitivitas Sensor Suhu Berbasis Fiber Optik Polymer (Pof) Yang Berbentuk Spiral Dan Berjaket Gel." (2017).
- [8] Puspitasari, Mariana Diah. Purwaka, Faris Hendra. (2017). *Analisis Perbandingan Pendeteksi Sarana Pada Lintasan Surabaya-Madiun*: Jurnal Perkeretaapian Indonesia.