

VOLUME 10 | NOMOR 2 | OKTOBER 2024

p-ISSN 2443-0986

e-ISSN 2685-001X

# ELEKTRIKA BORNEO



Diterbitkan oleh

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

p-ISSN 2443-0986

e-ISSN 2685-001X

# **ELEKTRIKA BORNEO**

Volume 10, Nomor 2, Oktober 2024

Ketua Redaksi  
(Editor-in-Chief)

**Fitriani Said, S.T., M.T.**

Dewan Redaksi  
(Editorial Board)

**Dr. Syahfrizal Tachfulloh, S.T., M.T.**

**Abdul Muis Prasetya, S.T., M.T.**

**Abil Huda, S.T., M.T.**

**Sugeng Riyanto, S.T., M.T.**

Asisten Redaksi  
(Editorial Assistant)

**Hendra, S.T.**

Alamat Redaksi  
(Address)

**Gedung D Lantai 3 Kampus Universitas Borneo Tarakan  
Jalan Amal Lama No. 1, Tarakan, 77123  
Kalimantan Utara, Indonesia**



Diterbitkan oleh:

**Jurusan Teknik Elektro Universitas Borneo Tarakan**

# ELEKTRIKA BORNEO

Volume 10, Nomor 2, Oktober 2024

## DAFTAR ISI

1. Desain Osilator Sinusoidal Pulse Width Modulation (Spwm) Pada Inverter Pure Sine Wave Secara Digital Menggunakan Mikrokontroler  
**Muhammad Yunus, Linda Sartika, Abdul Muis Prasetya, Natalis Laga Suban Temu dan Tri Noviansyah ..... 34 – 40**
2. Evaluasi Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Sekolah Ma Dan Mts As'adiyah Sebatik Kabupaten Nunukan  
**Sugeng Riyanto dan Muhammad Akbar ..... 41 – 47**
3. Evaluasi Perancangan Proteksi Petir Eksternal Metode Jala Sudut Pada Gedung SD Negeri 011 Tarakan  
**Sugeng Riyanto dan Rizky Ferdiansyah ..... 48 – 52**
4. Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Metode Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Gedung FKIP Universitas Borneo Tarakan  
**Sugeng Riyanto dan Fedroyanto Appulembang ..... 53 – 57**
5. Mengatur Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Sliding Mode Control (SMC) dengan Field Oriented Control (FOC)  
**Abdul Muis Prasetya, Linda Sartika, dan Mukhlis ..... 58 – 63**
6. Perbandingan Kendali Logika Fuzzy dan Jaringan Saraf Tiruan Pada Sistem Eksitasi Automatic Voltage Regulator Untuk Generator Sinkron  
**Abdul Muis Prasetya, Linda Sartika, dan Adjie Satria ..... 64 – 69**
7. Analisis Ekonomi Penggunaan PLTS Sebagai Energi Alternatif Hydrofarm Berbasis IoT  
**Steven Lumban Gaol, Fitriani Said dan Abil Huda ..... 70 – 75**
8. Perancangan Instalasi Penerangan Pada Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara  
**Sugeng Riyanto dan Fransiscus P Situmorang ..... 76 – 87**
9. Evaluasi Penangkal Petir Menggunakan Metode Sudut Proteksi Pada Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan  
**Sugeng Riyanto dan Alzat Gunawan ..... 88 – 92**

# DESAIN OSILATOR SINUSOIDAL PULSE WIDTH MODULATION (SPWM) PADA INVERTER PURE SINE WAVE SECARA DIGITAL MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

Muhammad Yunus<sup>1\*</sup>, Linda Sartika<sup>2</sup>, Abdul Muis Prasetia<sup>3</sup>, Natalis Laga Suban Temu<sup>4</sup>, Tri Noviyansyah<sup>5</sup>

<sup>1\*</sup>PT. Satelit Nusantara Tiga, Kalimantan Utara Indonesia

<sup>2,3,4,5</sup>Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara Indonesia

\*yunus19st@gmail.com

**Abstract**—Electrical energy is a vital requirement for life, especially AC (Alternating Current) electrical energy. Power plants that produce AC voltage still use a lot of fossil fuels in which their availabilities are dwindling. To cope with condition, an alternative source of electricity in the form of DC (Direct Current) energy from a battery can be benefitted as a source of electrical energy to replace fossil fuels. The equipment that can be used to utilize alternative energy is a pure sine wave inverter using the SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) technique. This inverter requires an oscillator. The oscillator used in this study was a microcontroller that was designed by entering a command program so that it produced a Pulse Width Modulation (PWM) signal which controlled the MOSFET on the inverter. This inverter used a 27 Volt DC source from a battery and then converted it into  $\pm 220$  Volt AC energy, with a frequency of  $\pm 50$  Hz, and a sine wave output. The purpose of designing this tool was to convert DC energy into AC and had a sine wave output so that alternative energy in the form of DC energy can be utilized.

**Keywords**— Inverter, Microcontroller, Oscillator, Pure Sine Wave, SPWM.

**Intisari**—Energi listrik menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi kehidupan, terutama energi listrik arus bolak-balik atau AC (Alternating Current). Pembangkit listrik yang menghasilkan tegangan AC masih banyak menggunakan bahan bakar fosil yang ketersediaannya semakin menipis. Untuk mengatasi hal tersebut sumber listrik alternatif berupa energi DC (Direct Current) dari baterai dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik pengganti bahan bakar fosil. Peralatan yang bisa digunakan untuk memanfaatkan energi alternatif tersebut adalah inverter. pure sine wave menggunakan teknik SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation). Pada inverter ini diperlukan sebuah osilator. Osilator yang digunakan pada penelitian ini adalah mikrokontroler yang didesain dengan cara memasukan program perintah, sehingga menghasilkan sinyal Pulse Width Modulation (PWM) yang akan mengendalikan MOSFET. Pada inverter ini menggunakan sumber DC 27 Volt dari battery lalu dikonversi menjadi tegangan AC  $\pm 220$  Volt, memiliki frekuensi  $\pm 50$  Hz, dan output gelombang yang berbentuk sinus. Tujuan dari perancangan alat ini adalah merubah energi DC menjadi AC dan memiliki output gelombang yang berbentuk sinus. sehingga energi alternatif tegangan DC dapat dimanfaatkan.

**Kata Kunci**— Inverter, Mikrokontroler, Osilator, Pure Sine Wave, SPWM.

## I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik semakin meningkat pada kehidupan masyarakat, namun tidak diringi dengan ketersediaan energi tak terbarukan. Energi tak terbarukan berupa energi fosil semakin berkurang, hal tersebut menjadi salah satu penyebab terjadinya krisis energi listrik dunia dikarenakan sebagian besar pemenuhan energi listrik disuplai dari pembangkit tenaga listrik yang menggunakan energi fosil. Salah satu tindakan yang bisa diambil untuk mengatasi krisis energi yaitu dengan menggunakan energi terbarukan atau biasa disebut energi alternatif. Energi alternatif sendiri dapat diperbarui dan tidak dapat habis [1].

Energi terbarukan bisa dijadikan solusi untuk menjadi sumber energi cadangan. beberapa energi terbarukan tegangan keluaran yang dihasilkan dalam bentuk DC (Direct Current), tegangan tersebut dapat dimanfaatkan dan dapat diubah menjadi tegangan AC (Alternating Current) menggunakan inverter pure sine wave untuk bisa memenuhi kebutuhan listrik yang pada umumnya menggunakan tegangan AC [2].

Pure sine wave atau true sine wave merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoidal sempurna, dengan THD (Total Harmonic Distortion) kurang dari 3%. Inverter jenis ini umumnya menggunakan teknologi PWM dengan bentuk gelombang keluaran yang hampir menyerupai gelombang sinusoidal [3].

Untuk membangkitkan sinyal pulse width modulation (PWM) tersebut diperlukan sebuah osilator. Osilator merupakan alat yang berfungsi sebagai pembangkit sinyal yang berupa gelombang atau getaran [4]. Dengan kata lain osilator merupakan komponen utama yang mengontrol sistem atau dapat disebut juga sebagai pusat kendali pada sistem yang ada.

Sinyal SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation) dapat dibangkitkan menggunakan metode analog dan digital, dua metode ini menggunakan cara yang berbeda dalam membangkitkan sinyal SPWM [5]. Cara kerja dari metode analog yaitu membangkitkan sinyal referensi yang berupa sinyal sinusoidal dengan sinyal carrier yang berupa sinyal segitiga secara terpisah. Sedangkan metode digital menggunakan bantuan mikrokontroler untuk membangkitkan sinyal, dalam metode digital digunakan beberapa baris coding untuk membangkitkan sinyal

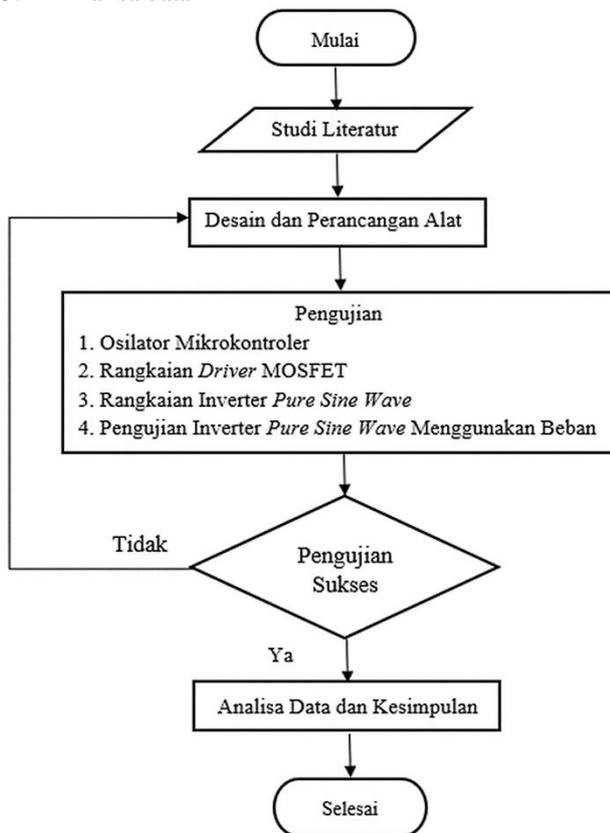
SPWM secara langsung tanpa membangkitkan dua buah sinyal [6]. Dengan begitu mikrokontroler dapat dijadikan sebagai osilator pembangkit sinyal SPWM dan dapat diaplikasikan pada *inverter pure sine wave* dengan cara memprogram mikrokontroler tanpa harus membangkitkan dua buah sinyal yaitu sinyal pembawa dan sinyal referensi [7].

Osilator SPWM menggunakan mikrokontroler yang akan diaplikasikan pada *inverter pure sine wave* akan mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC, sehingga dapat menjadi solusi permasalahan berkurangnya energi tak terbarukan dan dapat dipakainya energi terbarukan khususnya energi terbarukan yang menghasilkan tegangan DC.

## II. METODE PENELITIAN

Secara berurut langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah :

1. Studi literatur
2. Desain dan perancangan alat
3. Pengujian alat
4. Pengumpulan data
5. Analisa data



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian secara sistematis dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1 dimana diawali dengan studi literatur dilanjutkan dengan desain dan perancangan alat. Kemudian dilakukannya pengujian yang dimana jika pengujian gagal atau tidak memenuhi maka mengulang tahap desain dan perancangan alat. Namun, jika alat dapat bekerja dengan baik maka dapat dilakukannya tahap analisa data.

Langkah ke dua dalam penelitian ini adalah melakukan desain dan perancangan alat. Secara berurut desain dan perancangan alat yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Desain osilator mikrokontroler, mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno. Osilator didesain dengan cara memasukan program menggunakan software Arduino Ide.
2. Perancangan rangkaian *driver* MOSFET menggunakan transistor 8550.
3. Perancangan rangkaian *half bridge* inverter menggunakan MOSFET IRF3205.
4. Perancangan filter transformator dan kapasitor.

Langkah ke tiga yang dilakukan yaitu melakukan pengujian alat yang dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu :

1. Pengujian osilator mikrokontroler.
2. Pengujian rangkaian *driver* MOSFET.
3. Pengujian rangkaian *half bridge* inverter.
4. Pengujian inverter tanpa filter dan menggunakan filter.
5. Pengujian inverter menggunakan beban.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

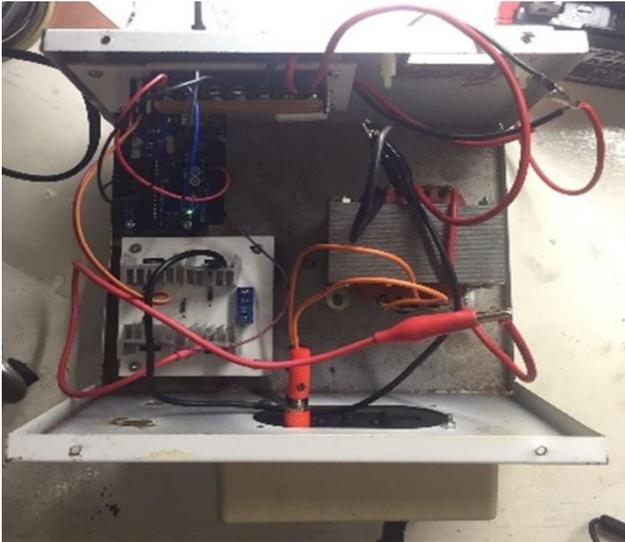
Setelah melalui rangkaian pengujian dan pengambilan data, adapun hasil yang diperoleh akan dibahas pada pembahasan sebagai berikut.

### A. Perangkat Sistem yang Dirancang

Perangkat osilator *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) pada inverter *pure sine wave* secara digital menggunakan mikrokontroler yang telah dirancang ini menggunakan tegangan DC sebagai tegangan sumber. Osilator mikrokontroler merupakan sebuah pengendali utama pada alat ini untuk menciptakan sinyal PWM. Agar osilator mikrokontroler dapat membangkitkan sinyal PWM, maka osilator tersebut perlu diberi perintah menggunakan program. Sistem kerja dari osilator ini yaitu setelah program dimasukan, maka program tersebut akan diproses oleh mikrokontroler dan dikirim ke pin *output* osilator mikrokontroler yaitu pin 9 dan 10. Pin tersebut merupakan perantara penghubung antara osilator dengan perangkat *output*. Setelah osilator selesai menghasilkan sinyal PWM, selanjutnya sinyal PWM akan disalurkan pada komponen *output* yang terhubung pada pin 9 dan 10 yaitu *driver* MOSFET. *Driver* MOSFET akan menaikkan, tegangan yang dihasilkan dari osilator sebesar 1.584 Volt DC dinaikkan menjadi 2.239 Volt DC.

*Driver* MOSFET akan mengendalikan kaki gate MOSFET pada rangkain *half bridge* inverter, saat kaki gate MOSFET Q1 dan Q2 diberi sinyal positif dari *driver* MOSFET maka Q1 dan Q2 dalam keadaan ON dan akan mengalirkan arus pada kumparan primer transformator sisi atas, sedangkan sisi bawah pada MOSFET Q3 dan Q4 akan OFF dan tidak dapat mengalirkan arus. Sebaliknya jika MOSFET Q3 dan Q4 dialiri sinyal positif oleh *driver* MOSFET maka Q3 dan Q4 dalam kondisi ON dan mengalirkan arus kumparan primer transformator sisi bawah, sedangkan pada sisi atas arus tidak dapat mengalir karena *driver* MOSFET tidak mengaliri sinyal positif pada gate MOSFET Q1 dan Q2. Dengan demikian tranformator mengalami induksi dan menghasilkan tegangan 220 Volt AC. Adapun hasil rancangan alat osilator *sinusoidal pulse*

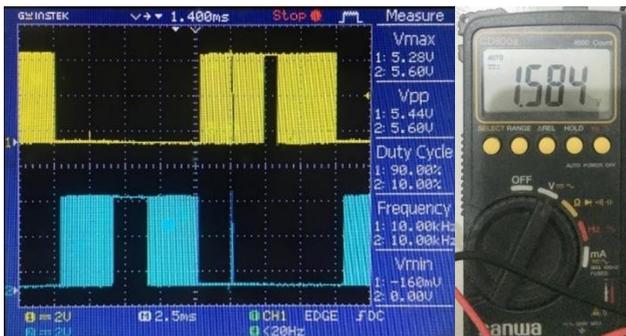
width modulation (SPWM) pada inverter pure sine wave secara digital menggunakan mikrokontroler ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil rancangan

B. Pengambilan Data

Pada tahap pengujian osilator mikrokontroler. Mikrokontroler yang digunakan berupa *Arduino UNO*. Pengujian osilator ini menggunakan osiloskop untuk melihat *ouput* gelombang yang dihasilkan dari pin 9 dan pin 10 *Arduino UNO* yang telah didesain atau diprogram menggunakan *software*. Berikut adalah hasil keluaran gelombang sinyal *pulse width modulation* (PWM) yang telah didesain:



Gambar 3. Gelombang dan tegangan *output* osilator

Dalam menerjemahkan hasil bacaan osiloskop dibutuhkan beberapa persamaan. Berikut adalah rumus perhitungan pada osilator mikrokontroler:

1. Menghitung tegangan *peak to peak*  
 $V_{pp} = \sum \text{ Kotak vertikal} \times \text{Time/divide}$  (1)
2. Menghitung tegangan puncak  
 $V_p = V_{pp} / 2$  (2)
3. Menghitung tegangan efektif  
 $V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$  (3)
4. Menghitung periode  
 $T = \sum \text{ Kotak horizontal} \times \text{Time/divide}$  (4)
5. Menghitung frekuensi  
 $f = 1 / T$  (5)

Berikut adalah perhitungan frekuensi dari osilator mikrokontroler yang ditampilkan pada Gambar 3 menggunakan persamaan (4) dan (5). Dimana hasil pembacaan osiloskop yakni  $\sum$  Kotak horizontal pin 9 + pin 10 berjumlah 8 dan *Time/div* yang digunakan yakni 2,5  $\mu$ s.

$$T = \sum \text{ Kotak horizontal} \times \text{Time/divide}$$

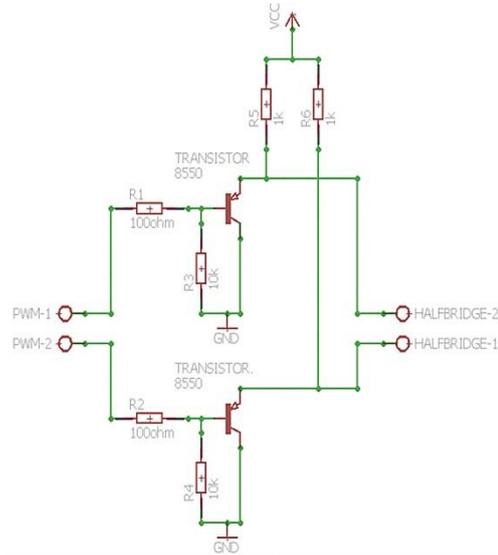
$$= 8 \times 2,5 \times 10^{-3}$$

$$= 20 \times 10^{-3}$$

$$f = 1 / T$$

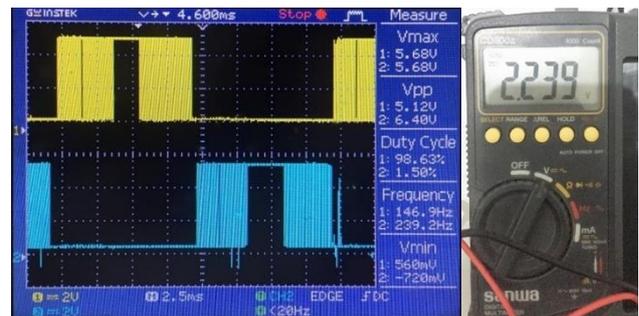
$$= 1 / (20 \times 10^{-3})$$

$$= 50 \text{ Hz}$$



Gambar 4. Rangkaian *driver* MOSFET

Gambar 4. merupakan rangkaian *driver* MOSFET, dapat dilihat komponen yang digunakan berupa resistor, serta yang menjadi komponen utama yang mengontrol MOSFET adalah transistor 8550. Pengujian yang dilakukan pada rangkaian ini menggunakan osiloskop. Hasil pengujian dari rangkaian *driver* MOSFET berupa gambar gelombang yang berbentuk PWM, serta tegangan yang diukur menggunakan multimeter digital.



Gambar 5. Gelombang dan tegangan *output* dari *driver* MOSFET

Berikut adalah perhitungan frekuensi dari *driver* MOSFET yang ditampilkan pada Gambar 5 menggunakan persamaan (4) dan (5). Dimana hasil pembacaan osiloskop yakni  $\sum$

Kotak horizontal berjumlah 8 dan *Time/div* yang digunakan yakni 2,5  $\mu$ s.

$$T = \sum \text{Kotak horizontal} \times \text{Time/dive}$$

$$= 8 \times 2,5 \times 10^{-3}$$

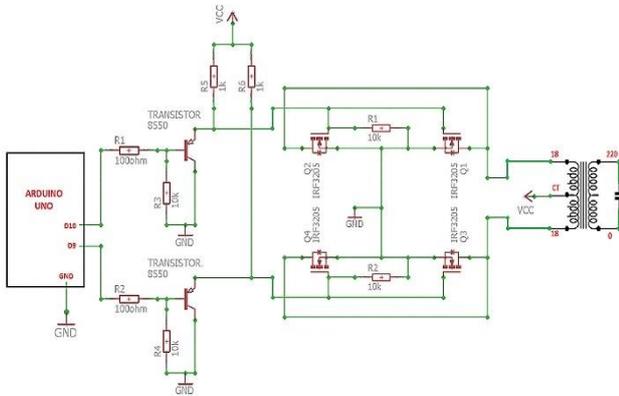
$$= 20 \times 10^{-3}$$

$$f = 1 / T$$

$$= 1 / (20 \times 10^{-3})$$

$$= 50 \text{ Hz}$$

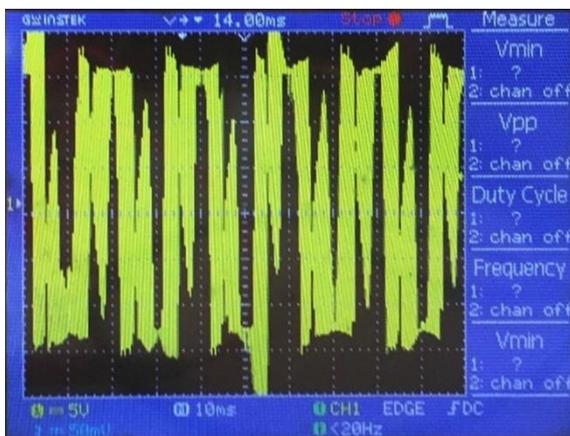
C. Hasil Pengambilan Data



Gambar 6. Osilator mikrokontroler SPWM pada inverter *pure sine wave*

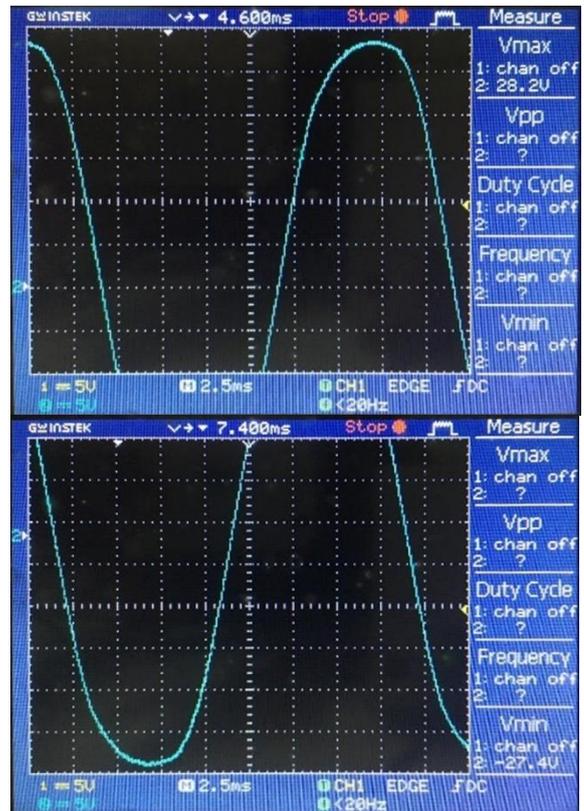
Pada pengujian inverter *pure sine wave* ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu pengujian inverter *pure sine wave* dengan *filter* transformator, pengujian inverter *pure sine wave* dengan *filter* transformator dan kapasitor, pengujian inverter *pure sine wave* dengan beban, dan pengujian inverter *pure sine wave* dengan variasi beban dan *filter* transformator serta kapasitor. Adapun penjabaran lebih lanjut terkait hal tersebut akan dijabarkan sebagai berikut.

1. Pengujian inverter *pure sine wave* dengan *filter* transformator

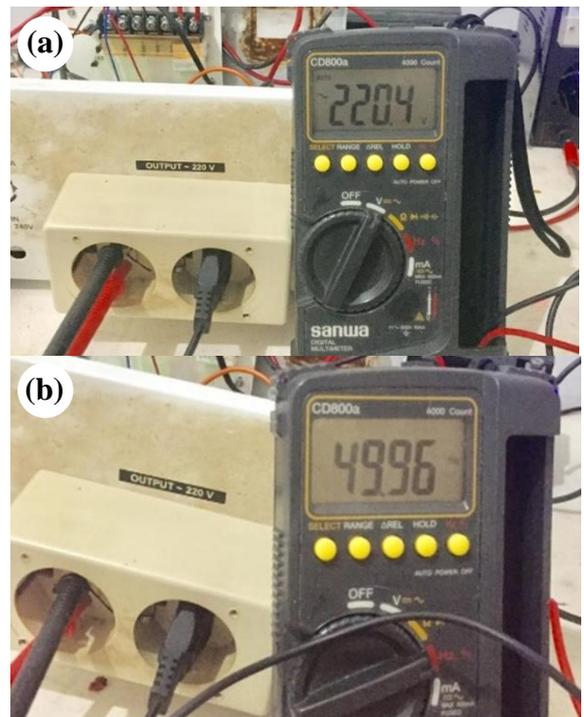


Gambar 7. Gelombang *output* inverter dengan *filter* transformator

2. Pengujian Inverter *Pure Sine Wave* dengan *Filter* Transformator dan Kapasitor



Gambar 8. Gelombang *output* inverter dengan *filter* transformator dan kapasitor



Gambar 9. Output tegangan (a) dan frekuensi (b) inverter menggunakan *filter* transformator kotak dan kapasitor

Hasil pengujian inverter menggunakan *filter* transformator kotak dan *filter* kapasitor tanpa beban mendapatkan tegangan *output* sebesar 220.4 volt AC dengan frekuensi 49.96 Hz seperti yang terlihat pada

Gambar 9. Tegangan sumber yang yang diperlukan sebesar 27 volt DC untuk mendapatkan tegangan output 220.4 volt AC. Dapat dilihat pada Gambar 7 bentuk gelombang yang dihasilkan dari inverter tanpa menggunakan *filter* kapasitor masih tidak beraturan, namun setelah diberi *filter* kapasitor bentuk gelombang yang didapatkan telah berbentuk sinus seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Berikut adalah perhitungan tegangan hasil pembacaan osiloskop menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) :

$$V_{pp} = \sum \text{Kotak vertikal} \times \text{Time/divide}$$

$$= 11,4 \times 5$$

$$= 570 \text{ Volt}$$

$$V_p = V_{pp} / 2$$

$$= 570 / 2$$

$$= 285 \text{ Volt}$$

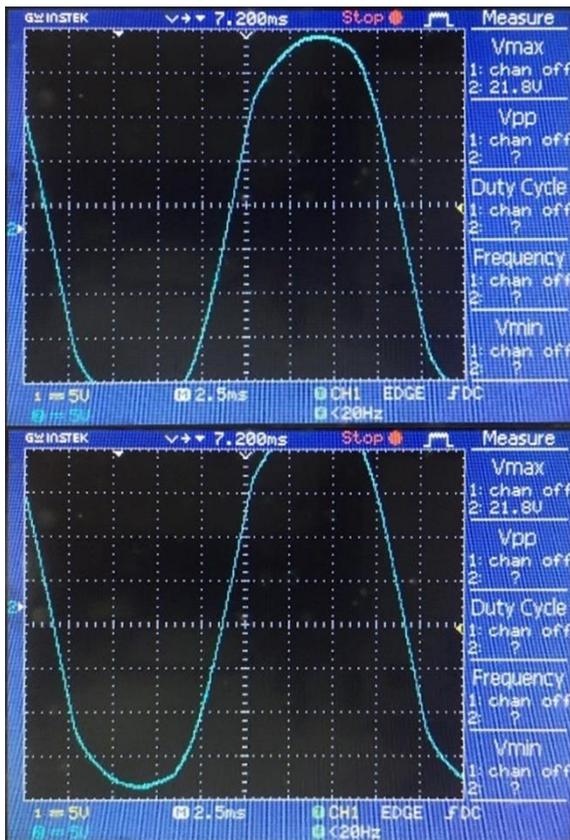
$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$$

$$= 285 / \sqrt{2}$$

$$= 201,52 \text{ Volt}$$

3. Pengujian inverter dengan beban lampu 8W

Dapat dilihat pada Gambar 11 tegangan *output* yang terukur setelah pemasangan beban lampu 8 Watt yaitu 177.7 Volt AC. Terjadi penurunan tegangan pada saat pemasangan beban lampu 8 Watt yaitu dari 220.4 Volt menjadi 177.7 Volt.



Gambar 10. Gelombang output inverter *pure sine wave* dengan beban lampu 8 Watt



Gambar 11. Tegangan hasil pengujian pemberian beban lampu 8 watt

Berikut adalah perhitungan inverter menggunakan beban lampu 8W hasil pembacaan osiloskop yang tertampil pada Gambar 10 menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) :

$$V_{pp} = \sum \text{Kotak vertikal} \times \text{Time/divide}$$

$$= 8,6 \times 5$$

$$= 430 \text{ Volt}$$

$$V_p = V_{pp} / 2$$

$$= 430 / 2$$

$$= 215 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$$

$$= 215 / \sqrt{2}$$

$$= 152,02 \text{ Volt}$$

4. Pengujian pemberian beban lampu pijar 60 Watt pada inverter *pure sine wave* dengan filter transformator dan kapasitor.

Pada pengujian pemasangan beban lampu pijar 60 Watt, nilai tegangan yang terukur menurun drastis dari nilai sebelumnya tanpa pemasangan beban yaitu bernilai 220.4 Volt turun hingga 79.2 Volt saat pemasangan beban seperti yang tertampil pada Gambar 13. Pada Gambar 12 terlihat bahwa gelombang yang dihasilkan saat pemasangan beban lampu pijar 60 Watt berubah menjadi bentuk segitiga. Berikut adalah perhitungan inverter *pure sine wave* menggunakan beban lampu 60W menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) :

$$V_{pp} = \sum \text{Kotak vertikal} \times \text{Time/divide}$$

$$= 10,6 \times 2$$

$$= 21.2 \times 10$$

$$= 212 \text{ Volt}$$

$$V_p = V_{pp} / 2$$

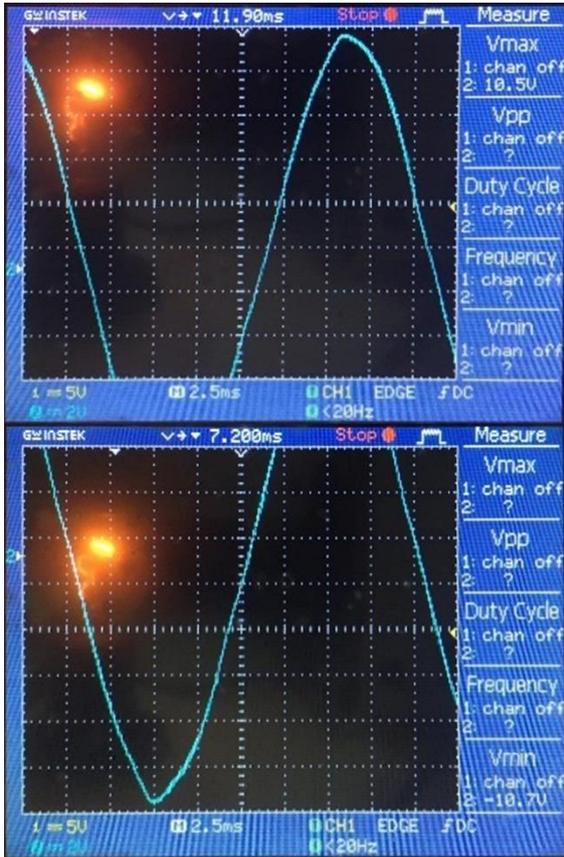
$$= 430 / 2$$

$$= 215 \text{ Volt}$$

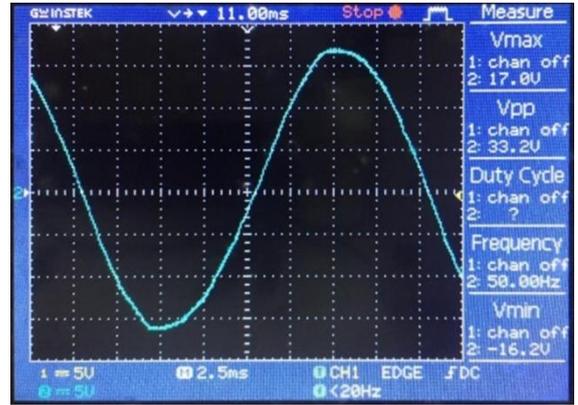
$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$$

$$= 215 / \sqrt{2}$$

$$= 152,02 \text{ Volt}$$



Gambar 12. Gelombang *output inverter pure sine wave* dengan beban lampu 60 watt



Gambar 14. Gelombang *output inverter pure sine wave* dengan beban kipas 45 watt



Gambar 15. Tegangan hasil pengujian pemberian beban kipas angin 45 watt



Gambar 13. Tegangan hasil pengujian pemberian beban lampu pijar 60 watt

Berikut akan dijabarkan perhitungan inverter *pure sine wave* menggunakan beban kipas angin 45W menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) :

$$V_{pp} = \sum \text{Kotak vertikal} \times \text{Time/divide}$$

$$= 6,6 \times 5$$

$$= 33 \times 10$$

$$= 330 \text{ Volt}$$

$$V_p = V_{pp} / 2$$

$$= 330 / 2$$

$$= 165 \text{ Volt}$$

$$V_{rms} = V_p / \sqrt{2}$$

$$= 165 / \sqrt{2}$$

$$= 116,02 \text{ Volt}$$

Dengan demikian telah didapatkan data dari hasil semua pengujian yang dirangkum pada Tabel I dan Tabel II sebagai berikut.

Tabel I  
Hasil Pengukuran Inverter *Pure Sine Wave*

Vin	Vout	Frekuensi	Keterangan
27 Vdc	220,4 Vac	49.96 Hz	Tanpa Beban
	177,7 Vac		Lampu 8W
	79,2 Vac		Lampu 60W
	122,0 Vac		Kipas Angin 45W

5. Pengujian pemberian beban kipas angin 45 Watt pada inverter *pure sine wave* dengan filter transformator dan kapasitor.

Pada pengujian terakhir yaitu pemberian beban kipas 45 Watt ini didapatkan hasil gelombang yang mengalami perubahan serta nilai tegangan yang menurun dari nilai sebelumnya. Hasil pengukuran saat kondisi tanpa pemasangan beban tegangan yang terukur yakni 220.4 Volt mengalami penurunan hingga 122 Volt saat pemasangan beban kipas seperti yang ditampilkan pada Gambar 15.

Tabel II  
Hasil Pengukuran Inverter *Pure Sine Wave*

Vin	Vout	Frekuensi	Keterangan
27 Vdc	201,5 Vac	50 Hz	Tanpa Beban
	152,0 Vac		Lampu 8W
	74,9 Vac		Lampu 60W
	116, 7 Vac		Kipas Angin 45W

Dari pengujian pada alat yang telah dilakukan diperoleh hasil pengukuran pada Tabel 1. yang menggambarkan bahwa alat yang dirancang dapat mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC. Berdasarkan hasil pengujian tegangan sumber DC sebesar 27 Volt mampu menghasilkan tegangan 220.4 Volt AC. Hal ini terjadi karena MOSFET tidak bekerja secara maksimal. Menurut *data sheet* MOSFET IRF3205, MOSFET IRF3205 akan bekerja maksimal pada tegangan 20 Volt DC untuk mengendalikan *gate* MOSFET. Namun, pada alat ini *driver* MOSFET hanya dapat menghasilkan tegangan sebesar 2.239 Volt DC. Untuk itu, tegangan sumber dinaikan hingga 27 Volt DC agar MOSFET dapat bekerja dan inverter dapat menghasilkan tegangan 220.4 Volt AC. Frekuensi yang terukur pada alat ini yaitu 49.96 Hz dan hasil pengujian menggunakan beban didapatkan tegangan mengalami penurunan saat terhubung dengan beban. Pada Tabel 2. merupakan hasil perhitungan secara manual melalui hasil pembacaan gelombang pada osiloskop. Berdasarkan hasil yang diperoleh persentasi selisih hasil pembacaan multimeter dengan osiloskop yakni berada pada rentang 4-14%. Nilai selisih terbesar yakni pada beban lampu 8W yang mencapai 14.46%.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian serta pengujian alat yang sudah dilaksanakan maka dapat disimpulkan bahwa desain osilator *sinusoidal pulse width modulation* (SPWM) pada inverter *pure sine wave* dapat dikatakan berhasil karena dapat menghasilkan gelombang sinus serta tegangan yang terukur dapat mencapai nilai 220.4 Volt AC dan frekuensi yang dihasilkan juga kurang lebih sebesar 49.96 Hz.

Untuk mendapatkan tegangan 220.4 Volt AC alat ini memerlukan tegangan sumber sebesar 27 Volt DC. Dari pengujian yang sudah dilakukan dapat dikatakan bahwa MOSFET tidak bekerja secara maksimal. Menurut *data sheet* MOSFET IRF3205, MOSFET IRF3205 bekerja maksimal pada tegangan 20 Volt DC untuk mengendalikan *gate* MOSFET. Namun pada prakteknya *driver* MOSFET hanya menghasilkan tegangan sebesar 2.239 Volt DC. Untuk itu perlu ditingkatkan tegangan sumber hingga 27 Volt DC agar MOSFET dapat bekerja dan inverter dapat menghasilkan tegangan sebesar 220.4 Volt AC.

Dari hasil pengujian dengan beban, terjadi penurunan tegangan pada saat diberi beban. Tegangan inverter *pure sine wave* saat diberi beban lampu 8 Watt turun 19.37% dari 220.4 Volt AC menjadi 177.7 Volt AC, saat diberi beban lampu 60 Watt tegangan turun sekitar 64% dari 220.4 Volt AC menjadi 79.2 Volt AC, dan saat diberi beban kipas 45 Watt tegangan turun 44.64% dari 220.4 Volt AC menjadi 122 Volt AC.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan oleh penulis kepada Tuhan YME serta doa orang tua dan orang yang terlibat, sehingga peneliti mampu menyelesaikan penelitian yang telah dituangkan pada artikel ilmiah ini. Terima kasih juga peneliti ucapkan kepada dewan redaksi jurnal yang telah meluangkan waktu untuk membuat template ini.

#### REFERENSI

- [1] Rafiq, M. Sinkronasi *Pembangkit Listrik Hybrid (Angin dan Surya) Berbasis DC-AC Inverter*. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, 2019.
- [2] Prasetya, Abdul Muis. *Implementasi Inverter Pure Sine Wave untuk Pemanfaatan Energi Surya*. Theta Omega: Journal of Electrical Engineering, Computer and Information Technology 2.1 (2021): 50-54.
- [3] Purwoto, B.H., Jatmiko, Muhammad A.F., & Huda I.F. *Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif*, 10-14, 2018.
- [4] Cahyono, Yoga Ari. *Komponen Elektronika Dan Cara Kerjanya*. Jurnal Portal Data 2, no. 4 (2022).
- [5] Muhammad R, Septiyanto D, Mulyono N. *Rancang Bangun Inverter 3 Fasa Berbasis Bipolar Sinusoidal Pulse Width Modulation*. InProsiding Industrial Research Workshop and National Seminar 2022 Aug 31 (Vol. 13, No. 01, pp. 1419-1424).
- [6] Azmi, K., Sara, I.D., & Syahrizal. *Desain dan Analisis Inverter Satu Fasa dengan Menggunakan Metode SPWM Berbasis Arduino*. KITEKTRO: Jurnal Online Teknik Elektro, Vol.2 No.4, 36-44, 2017.
- [7] Brahmi, Abdennabi, Ghizlane Chbirik, and Abdelouahed Abounada. *Design of SPWM control unit based on microcontroller for photovoltaic inverters*. 2020 1st International Conference on Innovative Research in Applied Science, Engineering and Technology (IRASET). IEEE, 2020.

# EVALUASI PERANCANGAN INSTALASI LISTRIK PADA GEDUNG SEKOLAH MA DAN MTs AS'ADIYAH SEBATIK KABUPATEN NUNUKAN

Sugeng Riyanto<sup>1</sup>, Muhammad Akbar<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>2</sup>akbararas3@gmail.com

**Abstract**— *Electricity is an indispensable necessity in life. Electrical needs are crucial in the construction of school building infrastructure. This study evaluates the electrical installation design in the MA and MTs As'adiyah school buildings in Sebatik. Observations revealed several discrepancies in the installation, both in terms of technical aspects and the type of materials used, which did not conform to the 2011 PUIL (Indonesian Electrical Wiring Regulation) standards. The electrical installation design calculations for each room indicate the use of TL = 36 watts for corridor areas and SL = 20 watts. The design utilizes a 3-phase system (R, S, T), where the first and second floors on phase (R) have a total power of 11.972 watts, the office and computer rooms on phase (S) have 12.574 watts, and the prayer room and computer rooms on phase (T) have 11.920 watts. The total calculated power is 36.466 watts. The cable cross-sectional area used for each load is 2.5 mm<sup>2</sup>, and the cable cross-sectional area for the protective MCB is 4 mm<sup>2</sup>. The soil type is clay, with a grounding resistance value of 0.42  $\Omega$ , which meets the PUIL 2011 standard of less than 5  $\Omega$ .*

**Keywords**— *Electrical Installation design*

**Intisari**— *Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang tak terlepas dari kehidupan. Dimana kebutuhan listrik sangatlah penting didalam pembangunan infrastruktur gedung sekolah. Perancangan instalasi Listrik pada bangunan sekolah MA dan MTs As'adiyah Sebatik. Dari hasil observasi ditemukan beberapa ketidaksesuaian dalam pemasangan instalasi baik dari teknis maupun jenis bahan digunakan yang tidak sesuai dengan standar PUIL 2011. Dari hasil perhitungan perancangan instalasi listrik pada setiap ruangan itu menggunakan jenis lampu TL = 36 watt untuk ruangan koridor menggunakan jenis lampu SL = 20 watt. Pada perancangan menggunakan 3 fasa yaitu R, S, T dimana lantai 1 dan 2 fasa (R) sebesar 11.972 watt, kantor dan R. komputer fasa (S) sebesar 12.574 watt, musholla dan R. komputer fasa (T) sebesar 11.920 watt. Jadi total keseluruhan daya pada hasil perhirungan sebesar 36.466 watt. Untuk luas penampang kabel yang digunakan pada setiap beban dari hasil perhitungan yaitu 2,5 mm<sup>2</sup> dan luas penampang kabel pada MCB pengaman yaitu 4 mm<sup>2</sup>. Jenis tanah adalah tanah liat dengan nilai pentanahan didapatkan yaitu sebesar 0,42  $\Omega$  dan telah memenuhi standar PUIL 2011 yaitu < 5  $\Omega$ .*

**Kata Kunci**— *Perancangan Instalasi Listrik*

## I. PENDAHULUAN

Sebagaimana setiap tahun ajaran dalam penerimaan peserta didik baru (PPDB) tingkat sekolah MA dan MTs As'adiyah Sebatik dalam meningkatkan mutu pendidikan,

maka pemerintah kabupaten nunukan terus berupaya membangun infrastruktur gedung sekolah, untuk menunjang proses kegiatan belajar mengajar. Salah satunya adalah membangun gedung sekolah MA dan MTs As'adiyah yang telah memasuki tahap kedua dalam proses pembangunannya.

Didalam pembangunan infrastruktur gedung sekolah tersebut, tidak terlepas yang namanya penyuplaian listrik pada gedung sekolah tersebut. Listrik merupakan salah satu kebutuhan yang tak terlepas dari kehidupan. Dimana kebutuhan listrik sangatlah penting didalam pembangunan infrastruktur gedung sekolah.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan peralatan yang sangat baik, maka kebutuhan akan adanya energi listrik menjadi kebutuhan utama di berbagai sektor kehidupan dalam rangka menunjang aktifitas kehidupan. Tenaga listrik adalah hal paling utama yang diperlukan dalam industri jasa seperti gedung, karena banyak peralatan yang beroperasi dengan menggunakan listrik. Dalam penggunaan energi listrik perlu memperhatikan perawatan dan pembaharuan pada instalasi listrik, yang dimana dapat menyebabkan resiko bahaya bagi pemakai. Oleh karena itu ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan instalasi listrik, yaitu material instalasi, pemasangan instalasi dan standar peraturan mengenai instalasi listrik menurut PUIL 2011.

Perancangan instalasi gedung MA dan MTs As'adiyah Sebatik Kabupaten Nunukan kondisi saat ini. Agar memberikan kenyamanan kepada guru, siswa dan siswi, gedung tersebut memerlukan sistem perancangan instalasi listrik yang baik sesuai dengan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011).

## II. LANDASAN TEORI

### A. Instalasi Listrik

Instalasi listrik merupakan proses pemasangan dan pengaturan sistem di dalam suatu bangunan. Ini melibatkan penempatan kabel, perangkat listrik, perlengkapan dan perlindungan yang diperlukan untuk menghubungkan sumber daya listrik dan penerangan. Dimana perancangan instalasi listrik ini harus sesuai dengan pedoman yang berlaku yaitu PUIL 2011 dan bahan instalasi listrik harus sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI).

### B. Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan itu harus disesuaikan dengan pekerjaan yang akan diterangi, pada penerangan ruang

kelas atau ruang belajar yang membutuhkan cahaya yang terang agar lebih efisien. Umumnya tinggi bidang pekerjaan yang diambil yaitu kurang lebih 0,8 meter. Flux cahaya yang dipancarkan pada lampu-lampu penerangan tidak semua mencapai bidang kerja, hal ini karena flux cahaya yang dipantulkan ke dinding dan langit-langit pada ruangan. [2]

Dalam menentukan jumlah titik lampu maka terlebih dahulu harus ditentukan adalah data-data ruangan yaitu :

- Tinggi langit-langit ruangan (t)
- Tinggi lampu pada bidang kerja (h)
- Tinggi bidang kerja kurang lebih 0,8 meter atau 80 cm

P. Van. Harten, Ir.E Setiawan (1995), dengan persamaan di bawah ini :

$$h = t - 0,8 \text{ meter} \quad (1)$$

### C. Indeks Ruang (k)

Sugeng Riyanto & Piter Londong (2019), indeks ruang (k) yang menyatakan perbandingan pada suatu ukuran suatu ruangan dalam bentuk persegi ataupun persegi panjang menggunakan persamaan dibawah ini :

$$k = \frac{p \cdot l}{h(p+l)} \quad (2)$$

dengan :

k = Indeks ruang

p = Panjang ruang

l = Lebar ruang

h = Tinggi ruangan

Sugeng Riyanto & Piter Londong (2019), setelah nilai indeks telah diketahui maka bisa dihitung nilai efisiensi penerangan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\eta = \eta_1 + \frac{k-k_1}{k_2-k_1} (\eta_2 - \eta_1) \quad (3)$$

dengan :

k = Indeks bentuk

k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub> = Indeks ruang

η<sub>1</sub>, η<sub>2</sub> = Efisiensi indeks ruang

η = Efisiensi penerangan

### D. Faktor Penyusutan

Efisiensi berlaku untuk instalasi penerangan baru, jika faktor penyusutannya 0,8 pada suatu instalasi yang dalam keadaan baru memberi 250 lux, tetapi hanya 200 lux dalam keadaan sudah terpakai [2]. Adapun persamaan faktor penyusutan adalah sebagai berikut :

$$d = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ dalam keadaan baru}} \quad (4)$$

dengan :

d = Penyusutan

E = Intensitas penerangan

E. Penerangan Dalam Ruangan

Pada perancangan suatu ruangan titik lampu yang akan dipasangkan harus dihitung agar pencahayaan dalam ruangan dapat menghasilkan cahaya yang bagus atau maksimal [9].

Maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$n = \frac{E \cdot A}{\phi \cdot \eta \cdot d} \quad (5)$$

dengan :

n = Jumlah titik lampu

E = Intensitas penerangan

A = Luas ruangan (panjang x lebar = m<sup>2</sup>)

φ = Fluks cahaya lampu (lumen)

η = Efisiensi penerangan

d = faktor penyusutan

### F. Kapasitas MCB

Dalam menentukan kapasitas MCB pada instalasi sangatlah penting agar perancangan instalasi listrik yang dilakukan dapat berjalan dengan aman dalam proses penyaluran beban dan mudah dalam prosen pemeliharaan. Untuk komponen MCB yang digunakan itu sebaiknya melebihi kapasitas daya. Apabila ada penambahan beban yang dilakukan makan tidak terjadi trip [11].

Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan MCB adalah sebagai berikut :

$$1 \text{ fasa} = I_n = \frac{P}{v \cdot \cos \phi} \quad (6)$$

$$3 \text{ fasa} = I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos \phi} \quad (7)$$

dengan :

P = Daya ( watt )

V = Tegangan ( volt )

I<sub>n</sub> = Arus nominal ( ampere )

Cos φ = Faktor daya

### G. Kemampuan Hantar Arus (KHA)

Dalam menentukan kemampuan hantar arus (KHA) digunakan persamaan dibawah ini : [9]

$$KHA = 125\% \times I_n \quad (8)$$

dengan :

I<sub>n</sub> = Arus nominal ( ampere )

### H. Luas Penampang Kabel

Luas penampang kabel harus sesuai dengan standar PUIL 2011 yang dimana agar menjaga keamanan instalasi listrik.

Adapun persamaan untuk mencari luas penampang kabel adalah sebagai berikut :

$$A = \frac{2 \cdot l \cdot I \cos \phi}{\gamma \cdot u} \quad (9)$$

dengan :

A = Luas penampang penghantar ( m<sup>2</sup> )

γ = Daya hantar jenis dari beban penghantar ( tembaga 50 x 10<sup>6</sup> S/m )

l = Panjang penghantar ( m )

I = Arus beban

u = Rugi-rugi tegangan dalam penghantar ( V )

Cos φ = Faktor daya

I. Pentahanan (Grounding)

Pentanahan pada intalasi listrik adalah sebagai pengaman dalam mengatasi arus lebih.

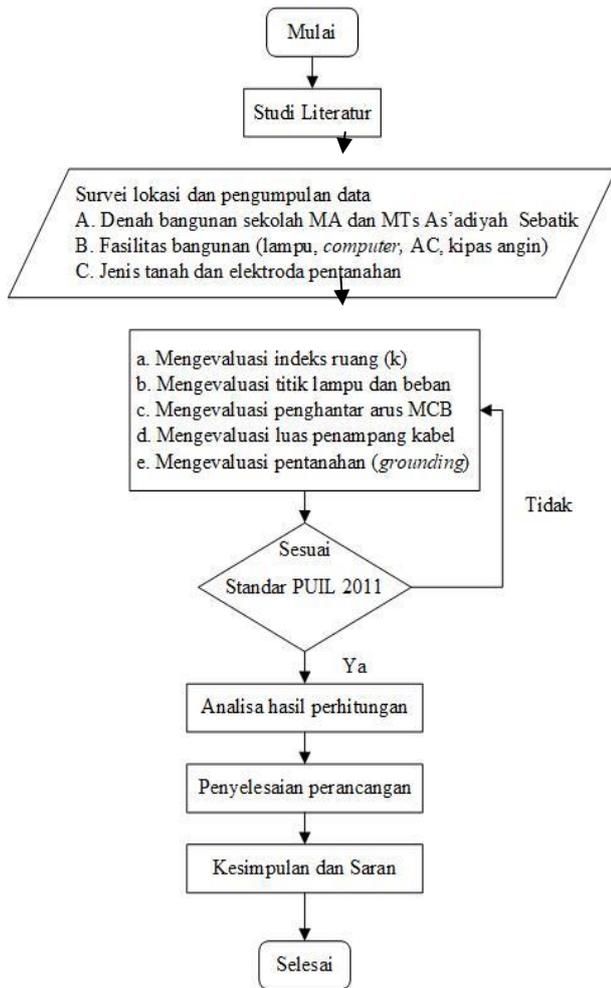
Rumus mencari nilai tahanan pentanahan elektroda batang adalah sebagai berikut : [11]

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \quad (10)$$

dengan :

- $R_G$  = Tahanan pentanahan (Ohm)
- $\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)
- $\ln$  = Logarittmus (dasar e = 2,7182818)
- $L_R$  = Panjang elektroda (meter)
- $A_R$  = Diameter elektroda (meter)

III. METODE PENELITIAN



Gambar 1. flowchart penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Lantai 1

Ruang Administrasi – R. K XI MIA 2

$$k = \frac{p \cdot l}{h(p+l)} = \frac{63,2}{37,8} = 1,6 \text{ (indeks ruang)}$$

Efisiensi penerangan nilai indeks ruang (k) adalah :

$$\eta = \eta_1 + \frac{k - k_1}{k_2 - k_1} (\eta_2 - \eta_1)$$

$$\eta = 0,54 + 0,2 (0,05)$$

$$\eta = 0,55 \text{ (Efisiensi penerangan)}$$

$$d = \frac{E \text{ dalam keadaan dipakai}}{E \text{ dalam keadaan baru}} = \frac{400 \text{ lux}}{500 \text{ lux}} = 0,8 \text{ (faktor depresiasi)}$$

0,8 adalah 2 tahun masa pemeliharaan yang dipakai dalam perhitungan untuk perancangan instalasi. Jika instalasi penerangan lampu menurun sampai 20% harus dilakukan pemeliharaan atau pembersihan.

Menggunakan armatur dan lampu TL 2 x 36 Watt (2 x 3250 lumen).

$$n = \frac{E \cdot A}{\phi \cdot \eta \cdot d}$$

$$n = \frac{500 \cdot 62,41}{6500 \cdot 0,55 \cdot 0,8}$$

$$n = \frac{3950}{351}$$

$$n = 10,91 = 12 \text{ lampu} = 6 \text{ armatur}$$

B. Perhitungan  $I_n$  dan KHA pada penerangan lantai 1

R. Administrasi  $I_n = \frac{P}{v \cdot \cos \phi} = \frac{560}{220 \cdot 0,8} = 3,18 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$   
 KHA =  $I_n \cdot 125\% = 3,18 \cdot 1,25 = 3,97 \text{ A}$   
 Panjang kabel (l) ke beban = 80 m

Teras 1  $I_n = \frac{P}{v \cdot \cos \phi} = \frac{360}{220 \cdot 0,8} = 2,04 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$   
 KHA =  $I_n \cdot 125\% = 2,04 \cdot 1,25 = 2,55 \text{ A}$   
 Panjang kabel (l) ke beban = 61 m

Teras 3  $I_n = \frac{P}{v \cdot \cos \phi} = \frac{72}{220 \cdot 0,8} = 0,40 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$   
 KHA =  $I_n \cdot 125\% = 0,40 \cdot 1,25 = 0,5 \text{ A}$   
 Panjang kabel (l) ke beban = 28 m

Wc Siswa  $I_n = \frac{P}{v \cdot \cos \phi} = \frac{100}{220 \cdot 0,8} = 0,56 \text{ A} \approx 2 \text{ A}$   
 KHA =  $I_n \cdot 125\% = 0,56 \cdot 1,25 = 0,7 \text{ A}$   
 Panjang kabel (l) ke beban = 84 m

C. Menghitung Luas Penampang Kabel Penerangan Lantai 1

$$A = \frac{2 \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot u} \text{ jumlah } (i \cdot l)$$

$$A = \frac{2 \cdot 0,8}{50 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$(3,18 \cdot 80 \text{ m}) + (2,04 \cdot 61) + (0,40 \cdot 28 \text{ m}) + (0,56 \cdot 84 \text{ m})$$

$$A = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 437,08}{50 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$A = 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,2 \text{ mm}^2 \approx 1,5 \text{ mm}^2 \text{ lebih baik } 2,5 \text{ mm}^2$$

dengan :

- A = Luas penampang penghantar ( m<sup>2</sup> )
- $\gamma$  = Daya hantar jenis dari beban penghantar  
( tembaga  $50 \times 10^6$  S/m )
- l = Panjang penghantar ( m )
- i = Arus beban
- u = Rugi-rugi tegangan dalam penghantar ( V )
- cos  $\phi$  = Faktor daya

D. Perhitungan  $I_n$  , KHA dan Luas Penampang Kabel untuk menentukan MCB Pengaman Instalasi Penerangan

Lantai 1 dan 2 (fasa R)

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos \phi} = \frac{11972}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 21,30 \text{ A} \approx 25 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 21,30 \cdot 1,25 = 26,62 \text{ A}$$

$$A = \frac{2 \cdot \cos \phi \cdot i \cdot l}{\gamma \cdot u}$$

$$A = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 21,30 \cdot 26,62}{50 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$A = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,6 \text{ mm}^2 \approx 2,5 \text{ mm}^2 \text{ lebih baik } 4 \text{ mm}^2$$

Kantor dan R.komputer (fasa S)

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos \phi} = \frac{12574}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 23,88 \text{ A} \approx 25 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 23,88 \cdot 1,25 = 29,85 \text{ A}$$

$$A = \frac{2 \cdot \cos \phi \cdot i \cdot l}{\gamma \cdot u}$$

$$A = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 23,88 \cdot 29,85}{50 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$A = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 2 \text{ mm}^2 \approx 2,5 \text{ mm}^2 \text{ lebih baik } 4 \text{ mm}^2$$

Musholla dan R.komputer

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot v \cdot \cos \phi} = \frac{11920}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8} = 22,63 \text{ A} \approx 25 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 22,63 \cdot 1,25 = 28,28 \text{ A}$$

$$A = \frac{2 \cdot \cos \phi \cdot i \cdot l}{\gamma \cdot u}$$

$$A = \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 22,63 \cdot 28,28}{50 \cdot 10^6 \cdot 5\% \cdot 220}$$

$$A = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m} = 1,8 \text{ mm}^2 \approx 2,5 \text{ mm}^2 \text{ lebih baik } 4 \text{ mm}^2$$

E. Perhitungan Pentanahan (*Grounding*)

Tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) = 100  $\Omega$  (Tanah liat)

Panjang Elektroda ( $L_R$ ) = 4 meter

Diameter Elektroda ( $A_R$ ) = 16 mm  $\approx$  0,016 meter

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right]$$

$$R_G = \frac{100}{2,3,14,4} \left[ \ln \left( \frac{4,4}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$R_G = 23,51 \Omega$$

dengan :

$R_G$  = Tahanan pentanahan (Ohm)

$\rho$  = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

$\ln$  = Logarittmus (dasar e = 2,7182818)

$L_R$  = Panjang elektroda (meter)

$A_R$  = Diameter elektroda (meter)

Kemudian dapat diperkecil hasil perhitungan dengan cara menggunakan persamaan hubung paralel :

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{23,51} + \frac{1}{23,51}$$

$$= 0,42 \Omega$$

F. Perbandingan Hasil Beban Yang Telah Terpasang dan Hasil Perhitungan Perancangan instalasi listrik

Perbandingan instalasi listrik yang terpasang pada saat ini dengan hasil perancangan di gedung sekolah MA dan MTs As'adiyah Sebatik Kabupaten Nunukan adalah :

1. Pada penggunaan jenis lampu yang terpasang saat ini pada setiap ruangan menggunakan jenis lampu SL = 20 watt sedangkan ruangan koridor menggunakan lampu SL = 11 dan 9 watt. Sedangkan pada hasil perhitungan atau perancangan menggunakan jenis lampu TL = 36 watt kecuali pada ruangan koridor SL = 20 watt.
2. Luas penampang kabel yang terpasang pada instalasi listrik pada gedung menggunakan 2,5 mm<sup>2</sup>. Sedangkan pada hasil perhitungan didapatkan yaitu luas penampang kabel yaitu 2,5 mm<sup>2</sup>. Jadi dari hasil perhitungan luas penampang kabel sesuai dengan yang telah terpasang pada instalasi listrik saat ini.
3. Untuk kapasitas MCB sekarang terpasang pada instalasi itu ada 6 bagian dengan kapasitas 10 A, (*lampiran*). Sedangkan dari hasil perhitungan yang didapatkan yaitu ada 2, 4 dan 6 A pada masing-masing ruangan. Dalam perancangan instalasi listrik menggunakan 3 fasa yaitu fasa R,S,T dengan kapasitas setiap fasa yaitu sebesar 25 A.
4. Pentanahan (*grounding*) menggunakan jenis tanah liat dengan nilai pentanahan yang didapatkan sebesar 0,42  $\Omega$ . Sedangkan dari hasil penelitian *grounding* pentanahan yang terpasang tidak sesuai dengan hasil perhitungan perancangan.
5. Untuk gambar denah titik lampu pada kondisi sekarang dan gambar denah perancangan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel  
Hasil perhitungan pada lantai 1

No	Nama ruangan	Panjang ruangan (m)	Lebar ruangan (m)	Luas ruangan (m <sup>2</sup> )	Intensitas Penerangan (E) (Lux)	Tinggi armatur-bidang kerja (h)	Indeks ruang/bentuk (k)	Efisiensi penerangan (n)	Faktor depresiasi (d)
1	R. Administrasi	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
2	R. K IX B	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
3	R. K IX C	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
4	R. K IX D	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
5	R. K IX E	7,9	7,9	60,84	500	3,17	1,6	0,55	0,8
6	R. K XII MIA	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
7	R. K XII IIS	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
8	R. K XI MIA 1	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
9	R. K XI MIA 2	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
10	Teras 1	39,9	1,9	75,81	250	3,17	0,7	0,34	0,8
11	Teras 2	40	1,9	76	250	3,17	0,7	0,34	0,8
12	Teras 3	8	2,9	23,2	250	3,17	0,8	0,375	0,8
13	WC Siswa	2	2	4	50	3	0,4	0,13	0,8

Tabel II  
Hasil perhitungan pada lantai 2

No	Nama ruangan	Panjang ruangan (m)	Lebar ruangan (m)	Luas ruangan (m <sup>2</sup> )	Intensitas Penerangan (E) (Lux)	Tinggi armatur-bidang kerja (h)	Indeks ruang/bentuk (k)	Efisiensi penerangan (n)	Faktor depresiasi (d)
1	R. K VIII A	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
2	R. K VIII B	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
3	R. K VIII C	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
4	R. K VIII D	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
5	R. K IX A	9,8	7,9	75,88	500	3,17	1,6	0,579	0,8
6	R. K X MIA 1	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
7	R. K X MIA 2	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
8	R. K X IIS	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
9	R. K XI IIS	8	7,9	63,2	500	3,17	1,6	0,55	0,8
10	R. Perpustakaan	8	4	32	500	3,17	1,1	0,47	0,8
11	Teras 4	39,9	1,9	75,81	250	3,17	0,7	0,34	0,8
12	Teras 5	40	1,9	76	250	3,17	0,7	0,34	0,8
13	Teras 6	8	2,9	23,2	250	3,17	0,8	0,375	0,8
14	Atas Tangga	8	3,9	31,2	250	3,17	1,1	0,47	0,8

Tabel III  
Hasil perhitungan pada kantor

No	Nama ruangan	Panjang ruangan (m)	Lebar ruangan (m)	Luas ruangan (m <sup>2</sup> )	Intensitas Penerangan (E) (Lux)	Tinggi armatur-bidang kerja (h)	Indeks ruang/bentuk (k)	Efisiensi penerangan (n)	Faktor depresiasi (d)
1	R. Guru 1	14	3,6	50,4	250	3,20	1,1	0,47	0,8
2	R. Guru 2	4,5	3,6	16,2	250	3,20	0,8	0,375	0,8
3	R. kepek	4,5	3,6	16,2	250	3,20	0,8	0,375	0,8
4	R. Pertemuan	7	4,8	33,6	250	3,20	1,1	0,47	0,8
5	R. Komputer	7	4,8	33,6	250	3,20	1,1	0,47	0,8
6	R. Dapur	3,6	3	10,8	250	3,20	0,6	0,282	0,8
7	Teras	3,6	3	10,8	250	3,20	0,6	0,282	0,8
8	WC Guru	2	1,8	3,6	50	3	0,3	0,152	0,8

Tabel IV  
Hasil perhitungan pada musholla

No	Nama ruangan	Panjang ruangan (m)	Lebar ruangan (m)	Luas ruangan (m <sup>2</sup> )	Intensitas Penerangan (E) (Lux)	Tinggi armatur-bidang kerja (h)	Indeks ruang/bentuk (k)	Efisiensi penerangan (n)	Faktor depresiasi (d)
1	Area Sholat	10	10	100	500	3,80	1,6	0,55	0,8
2	Migrab	3	2	6	250	3,80	0,6	0,282	0,8
3	R. Operator	2,5	2	5	250	3,80	0,6	0,282	0,8
4	R. Gudang	2,5	2	5	250	3,80	0,6	0,282	0,8

Tabel IV  
Hasil perhitungan MCB pengamanan pada instalasi penerangan

Nama pengamanan	Total Daya lampu dan kipas gantung (W)	Daya STC pada komputer dan AC (W)	$I_n$ (A)	KHA (A)	MCB (A)	Luas Penampang Kabel (mm <sup>2</sup> )
Fasa R Lantai 1 dan 2	11972	-	21,30	26,62	25	4 mm <sup>2</sup>
Fasa S Kantor dan R. komputer	1024	11550	23,88	29,85	25	4 mm <sup>2</sup>
Fasa T Musholla dan R. komputer	1120	10800	22,63	28,28	25	4 mm <sup>2</sup>

## V. KESIMPULAN

Pada hasil perhitungan yang didapatkan dari evaluasi perancangan instalasi listrik pada gedung sekolah MA dan MTs As'adiyah sesbatic Kabupaten Nunukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari hasil perhitungan perancangan imstalasi listrik pada setiap ruangan itu menggunakan jenis lampu TL = 36 watt untuk ruangan koridor menggunakan jenis lampu SL = 20 watt. Pada perancangan menggunakan 3 fasa yaitu R, S, T dimana lantai 1 dan 2 fasa (R) sebesar 11.972 watt, kantor dan R. komputer fasa (S) sebesar 12.574 watt, musholla dan R. komputer fasa (T) sebesar 11.920 watt. Jadi total keseluruhan daya pada hasil perhirungan sebesar 36.466 watt.
2. Untuk luas penampang kabel yang digunakan pada setiap beban dari hasil perhitungan yaitu 2,5 mm<sup>2</sup> dan luas penampang kabel pada MCB pengamanan yaitu 4 mm<sup>2</sup>.
3. Kapasitas MCB yang digunakan dari hasil perhitungan masing-masing fasa adalah 25 A.
4. Dari ovservasi pemasangan pentanahan tidak sesuai dengan hasil perhitungan. Untuk pentanahan (*grounding*) pada lokasi penelitian jenis tanah adalah tanah liat dengan nilai pentanahan didapatkan yaitu sebesar 0,42  $\Omega$ .

## SARAN

1. Rekomendasi dari hasil penelitian terdapat atau ditemukan perbedaan antara hasil penelitian dan hasil perhitungan perancangan yang tidak sesuai dengan PUIL 2011 berdasarkan sub bab 4.5
2. Rekomendasi teknis berdasarkan penelitian atau obsevasi dilapangan ditemukan ketidaksesuaian teknis seperti jenis lampu yang digunakan pada ruang kelas, ruang koridor dan *grouding* atau pentanahan yang tidak sesuai standar PUIL 2011.

## REFERENSI

- [1] Ardian.N, H. (2021). Evaluasi Instalasi Listrik Pada Gedung Pengnapan Yogyakarta. *Telekomunikasi dan Otomasi SNETO*.
- [2] Setiawan. E dan Harten. P. Van (1985). *Instalasi Listrik Arus Kuat 1*. Bandung: Binacipta.
- [3] Fauzan.Z.M, R. (2021). Evaluasi dan Perancangan Ulang Instalasi Listrik Gedung Manajemen dan Ruang Kelas di SMAN Garut. *Avaiable online at JKTE*.
- [4] Hadiyanto.D. (2022). Modul Pelatihan Teknis Instalasi Pemanfaatan Listrik Tegangan Rendah Bagi Pelaksana Madya. Ciracas, Jakarta Timur: Kementerian ESDM PPSDM KEBTKE.

- [5] Hendratno.B, C. (2019). Perancangan dan Pemasangan Instalasi Listrik Bangunan Rumah Tinggal Bertingkat Di Graha Family Blok I Nomor 33 Surabaya.
- [6] Ir. Sayogo. B, dkk (2014). *PUIL 2011*. Jakarta: Direktorat Teknik dan Lingkungan Ketenagalistrikan.
- [7] Jamilah.N.H, T. A. (2021). Perancangan Ulang Intalasi Listrik Penerangan Laboratorium Mesin SMK 2 Perkasa. *Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*.
- [8] Revaldi.R, H. (2021). Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Lapan Bogor. *Telekomunikasi dan Otomasi SNETO*.
- [9] Riyanto. S dan Londong. P (2019). Perancangan Instalasi Listrik Dengan menggunakan sistem *HYBRID* dan JALA-JALA PLN pada bangunan PT. Pertamina EP Asset 5 Tarakan *Field. Jurnal, Inovtek Polbeng, Vol. 9*.
- [10] Syofian.a, N. (2017). Evaluasi Sistem Kelistrikan Pada Gedung Bertingkat Plaza Andalas Padang. *Jurnal Teknik Elektro ITP*.
- [11] Imam, P, A (2021). Perancangan Istalasi Listrik Hybrid Menggunakan Sumber Jaringan Listrik PLN dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Bangunan Gedung Sekolah SMPN 7 Kota Tarakan.

# EVALUASI PERANCANGAN PROTEKSI PETIR EKSTERNAL METODE JALA SUDUT PADA GEDUNG SD NEGERI 011 TARAKAN

Sugeng Riyanto<sup>1</sup>, Rizky Ferdiansyah<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara

<sup>1</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>2</sup>Ferdiancina017@gmail.com

**Abstract**—In this lightning protection system analysis research, the aim is to determine the level of lightning protection, the area protected by the lightning rod, and the ground resistance at the Tarakan 011 State Elementary School. At Tarakan 011 State Elementary School with a building height of 15 m, the average number of lightning strikes was 10.32 per year. From the results of the value of the average number of lightning strikes, the efficiency value is 0.99, so that the lightning strike protection level obtained at the Tarakan 011 State Elementary School is at protection level I. In the calculation results, the lightning strike distance value obtained is 5,987.9 m. The protection area obtained can be seen that the lightning strike protection system at the 011 Tarakan State Elementary School is able to protect the building from lightning strikes. The grounding system used to channel the lightning current uses rod electrodes. Where the grounding at State Elementary School 011 Tarakan has a resistance value of 4  $\Omega$  from the calculation of the grounding system design and from the test results a value of 0.6  $\Omega$  was obtained.

**Keywords**—Lightning, Lightning rod, Mesh method,

**Intisari**—Pada penelitian analisis sistem proteksi petir ini bertujuan untuk mengetahui tingkat proteksi penangkal petir, luas daerah yang terproteksi oleh penangkal petir, dan tahanan petanahan pada Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan. Pada Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan dengan tinggi gedung 15 m ini didapatkan nilai jumlah rata-rata sambaran petir sebesar 10,32 sambaran pertahun. Dari hasil nilai jumlah rata-rata sambaran petir didapatkan nilai efisiensinya sebesar 0,99 sehingga didapatkan tingkat proteksi sambaran proteksi sambaran petir pada Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan ini pada tingkat proteksi I. Pada hasil perhitungan nilai jarak sambaran petir yang diperoleh sebesar 5.987,9 m. Daerah proteksi yang diperoleh dapat dilihat bahwa sistem proteksi sambaran petir pada Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan ini sudah mampu melindungi gedung dari sambaran petir. Sistem pentanahan yang dipakai untuk menyalurkan arus petir ini menggunakan elektroda batang. Dimana pentanahan pada Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan ini memiliki nilai tahanan sebesar 4  $\Omega$  dari perhitungan rancangan sistem groundingnya dan dari hasil pengujian didapatkan nilai sebesar 0,6  $\Omega$ .

**Kata Kunci:** Petir, Penangkal petir, Metode jala,

## I. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk daerah tropis yang terletak di daerah khatulistiwa dengan jumlah hari guruh per tahun/petir yang sangat tinggi sehingga memungkinkan banyak terjadinya bahaya dengan kerusakan yang ditimbulkan pada harta benda dan kematian pada makhluk hidup yang ada di sekitarnya akibat sambaran petir.

Sambaran petir juga dapat menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik. Setiap peralatan yang menggunakan energi listrik atau elektronika dapat menjadi sasaran sambaran petir secara tidak langsung melalui radiasi, konduksi atau induksi elektromagnetik dari sambaran petir tersebut.

Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik yang terjadi di atmosfer. Peristiwa pelepasan muatan ini terjadi karena perbedaan muatan antara awan dengan permukaan bumi. Aktivitas petir di Indonesia tergolong ke dalam aktivitas petir tertinggi di dunia yang mencapai 100-200 hari per tahun bahkan kerapatan petir-petir Indonesia juga sangat besar yaitu 12 km<sup>2</sup> per tahun, artinya petir memiliki potensi menerima sambaran petir sebanyak 12 kali tiap tahunnya sehingga dikenal dengan sarang petir dunia.

Sistem proteksi eksternal adalah proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Terutama efek medan magnet dan medan listrik pada instalasi metal atau sistem listrik. Proteksi eksternal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap dampak sambaran tidak langsung.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Tinjauan pustaka

Ketentuan tentang proteksi petir diantaranya diatur pada Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Pada penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu system proteksi petir pada Gedung Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan, bangunan yang dibangun bertingkat sehingga berpotensi terkena sambaran petir, agar terlindungi dari bahaya sambaran petir maka dipasang instalasi proteksi petir yang selanjutnya disebut dengan penangkal petir. Sehingga gedung tersebut dapat terlindungi dari bahaya sambaran petir.

Sistem penangkal petir meliputi penangkal petir eksternal dan penangkal petir internal. Penangkal petir dibuat dan mempunyai tahanan pentanahan/pembumian yang sekecil mungkin. Tujuannya adalah agar bila terjadi petir, arus dapat mengalir ke dalam tanah secara cepat dan netral. Jika nilai resistansi pembumian terlalu besar akan berdampak negatif yaitu dapat merusak benda-benda yang dilewatinya. Jadi instalasi penangkal petir harus berfungsi sempurna dan harus mempunyai nilai hambatan sekecil mungkin.

Tahanan sebaran pem bumian maksimal <5  $\Omega$ . Namun untuk memberikan tingkat perlindungan yang lebih baik, besarnya tahanan pentanahan juga ditentukan berdasarkan pada fungsi dari gedung tersebut, misalnya untuk

keamanan melindungi barang-barang elektronik yang berada didalam gedung, tahanan per tanahan  $<2 \Omega$  dan bila dilebih kecil dan lebih baik. Besar nilai tahanan suatu elektroda dari sistem pembumian dipengaruhi oleh tahanan jenis tanah dan kandungan air. Untuk mengurangi penurunan tahanan pentanahan akibat pengaruh musim, khususnya di negara kita yang beriklim tropis maka pemasangan elektroda pembumian dilakukan hingga mencapai kedalaman dimana terdapat sumber air tanah. Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah dan akan mempengaruhi nilai tahanan pembumian. Apabila kandungan air cukup besar maka tahanan jenis tanah akan kecil. Sistem grounding, pentanahan (pembumian) yang baik antara lain kabel penghantar yang ditanam harus benar terhubung ke bumi/tanah. Untuk mengetahui apakah sistem Grounding atau pentanahan yang terpasang sudah benar terhubung ke bumi/tanah dengan baik, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan Grounding Tester atau Earth Tester Meter.

## B. Petir

Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*Electrical Discharge*) yang terjadi di atmosfer, hal ini disebabkan berkumpulnya ion bebas bermuatan negatif dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari air menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair.

Petir sering menjadi bagian dari kondisi cuaca yang tiba-tiba mendung turun hujan lebat, dimana saat menjelang hujan biasanya terjadi kilatan cahaya di langit lalu disusul oleh busur api yang menjalar di awan yang berwarna gelap yang tidak tentu arahnya.

Petir adalah bunga api listrik yang berukuran sangat besar menyambar awan petir yang terjadi akibat peristiwa pelepasan muatan listrik, dapat disimpulkan bahwa petir kilatan cahaya raksasa yang menghasilkan energi listrik, dimana sambaran petir biasa terjadi pada awan dengan udara dengan permukaan tanah. Menurut (*Brian William, 2007*), pada penelitiannya petir merupakan bunga api yang berukuran sangat besar menyambar awan dan percikan di angkasa Bunga api listrik tersebut, akibat peristiwa tersebut dimana pelepasan muatan listrik pada awan ataupun bumi akibat kegagalan dielektrik pada lapisan udara.

## C. Macam-macam petir

Telah disebutkan sebelumnya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda. Misalnya, muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehingga menimbulkan pelepasan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah peluahan atau petirnya juga terbalik.

Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut :

Berdasarkan polaritas muatan :

- 1 Muatan positif
- 2 Muatan negatif

Berdasarkan arah sambaran :

1. Arah kebawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
  2. Arah keatas (awan), disebut *upward lightning*
- Berdasarkan jenis sambaran :
3. Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*)
  4. Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*)
  5. Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*)

## D. Frekuensi sambaran petir

Rata-rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun ( $N_d$ ), bisa diperoleh dari perhitungan densitas rata-rata sambaran petir ke tanah /  $Km^2$  / tahun ( $N_g$ ) yang diperkirakan ke bangunan, dikalikan dengan area ekuivalen ( $A_e$ ) bangunan. Menurut [6]. Rumus menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan adalah dengan persamaan berikut :

$$N_g = 0,04 \cdot Td^{1,25} Km^2/tahun \quad (1)$$

dengan :

$N_g$  = Densitas sambaran petir ketanah rata-rata tahunan

$Td$  = Hari per tahun

Menurut [6] menghitung era poteksi pada bangunan adalah menggunakan persamaan berikut :

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (2)$$

dengan :

$A_e$  = Area proteksi

$A$  = Panjang gedung

$b$  = Lebar gedung

$h$  = Tinggi gedung

## E. Risk assesment / taksiran resiko

Suatu sistem proteksi petir yang baik, harus mampu melindungi seluruh bangunan beserta orang dan peralatan yang ada didalamnya guna menghindari bahaya yang ditimbulkan. Jika suatu bangunan dianggap beresiko terkena sambaran petir, maka akan dilakukan perhitungan untuk melakukan perancangan sistem penangkal petir eksternal yang diperlukan bangunan tersebut. Dalam menghitung jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun dengan menggunakan persamaan berikut [6].

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \text{ pertahun} \quad (3)$$

dengan :

$N_d$  = Frekuensi sambaran petir langsung per tahun

$N_g$  = Densitas sambaran petir ketanah rata-rata tahunan

$A_e$  = Area proteksi gedung/bangunan

Kemudian menghitung efisiensi sambaran petir dengan telah diketahui sebesar 0,1 [6].

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \tag{4}$$

dengan :

E = Efisiensi sambaran petir

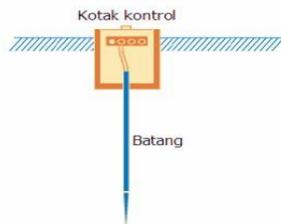
$N_c$  = Sambaran petir setempat (0,1)

$N_d$  = Frekuensi sambaran petir langsung per tahun.

E. Elektroda batang (Rod)

Elektroda batang merupakan elektroda yang terbuat dari besi atau baja profil yang dipasang secara tegak lurus masuk kedalam tanah [11]. Umumnya digunakan batang tembaga atau bias juga pipa galvanis dengan diameter minimal 1 inc sampai 2 inc [11], elektroda batang adalah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. [10].

Selain itu keuntungan dari penggunaan elektroda jenis batang (rod) secara teknis mudah pemasangannya karena hanya perlu menancapkan bagian batang elektroda pada tanah.



Gambar 1. Elektroda (Rod)  
Sumber : [10]

Nilai Resistansi tanah pentanahan pada elektroda batang:

$$R_G = \frac{\rho}{2\pi L_R} \left[ \ln \left( \frac{4L_R}{A_R} \right) - 1 \right] \tag{5}$$

dengan :

$R_G$  = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal ( $\Omega$ )

$In$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega m$ )

$L_R$  = Panjang elektroda (m)

$A_R$  = Diameter elektroda (m)

Untuk memperkecil tahanan pentanahan maka pemasangan elektroda batang dapat dihubung paralel dengan jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya [11].

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \tag{6}$$

III. METODE PENELITIAN

A. Metode penelitian

Metode penelitian adalah metode yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penelitian untuk mendapatkan informasi dan data yang terjadi dilapangan. Mengingat hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan yang dapat ditunjukkan secara langsung didepan umum.

B. Tempat dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan. Penelitian dilaksanakan dalam waktu kurang lebih 6 bulan untuk melakukan perancangan alat ataupun

pengumpulan data dimulai dari Desember 2022 sampai dengan Januari 2023.

C. Jenis penelitian

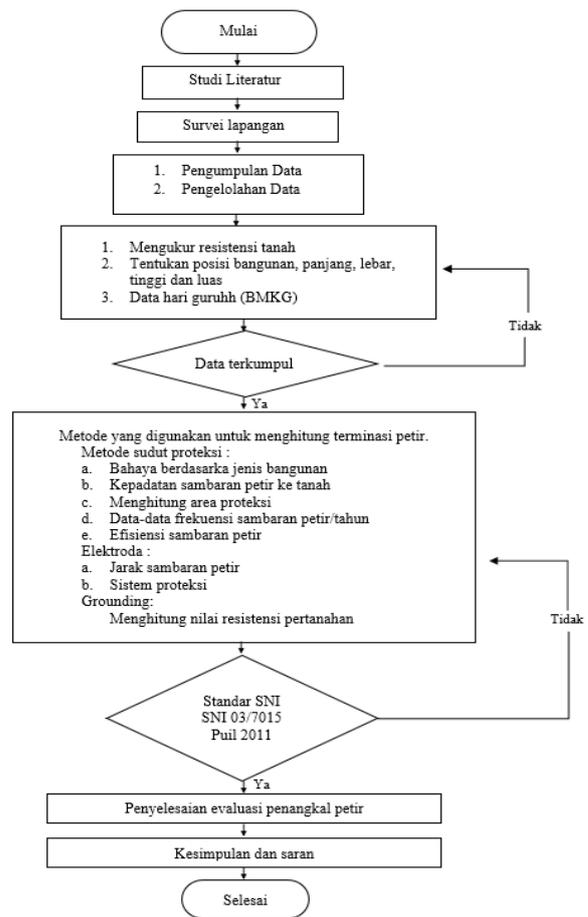
Metode jala (*mesh size method*) merupakan metode yang digunakan untuk membantu melindungi permukaan yang datar karena biasa melindungi seluruh permukaan bangunan.

D. Alat dan bahan penelitian

Alat dan bahan atau instrumen pemeriksaan. yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat ukur Earth Tester digunakan untuk mengukur resistansi tahanan jenis tanah .
2. Elektroda pentanahan yang digunakan untuk menetapkan suatu pentanahan.

E. Flowchart penelitian



Gambar 2. Flowchart Alur Analisa Dan Pengukuran Data

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Pengukuran di lapangan (Grounding)

- Jenis tanah : 4.00 ohm (tanah pasir)
- Panjang Elektroda : 2 meter (elektroda batang)
- Diameter Elektroda : 16 mm = 0,016 meter.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{4,00}{2,3,14,2} \left[ \ln \left( \frac{4,2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 1,66 \Omega$$

Dengan :

R = Pertanahan (ohm)

$\rho$  = Jenis tanah (ohm-meter)

L = Panjang Elektroda Batang (meter)

A = Diameter Elektroda Batang (meter)

Karena didapatkan hasil pertanahan yang lumayan besar maka dapat di perkecil lagi dengan menggunakan persamaan hubung paralel.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66}$$

$$+ \frac{1}{1,66} + \frac{1}{1,66} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51}$$

$$= 0,6 \Omega$$

Tabel I

Perhitungan resistansi tahanan tanah pada Gedung Rusunawa Universitas Borneo Tarakan

No	Nama	Hasil
1	Sebelum di paralel	1,66 $\Omega$
2	Sesudah di paralel	0,6 $\Omega$

B. Data Standar SNI

Jenis Tanah : 200  $\Omega$  (tanah pasir)

Panjang Elektroda : 2 meter (elektroda batang/pasak)

Diameter Elektroda : 16 mm = 0,016 meter

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{200}{2,3,14,4} \left[ \ln \left( \frac{4,2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 41,51 \Omega$$

Dengan :

R = Pertanahan (ohm)

$\rho$  = Jenis tanah (ohm-meter)

L = Panjang Elektroda Batang (meter)

A = Diameter Elektroda Batang (meter)

Dikarnakan hasil dari perhitungan menurut [11], Sangat besar maka dapa diperkecil menggunakan persamaan hubung paralel.

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51}$$

$$= 4,15 \Omega$$

Tabel II

Hasil perhitungan menurut SNI

No	Nama	Hasil
1	Sebelum di paralel	41,51 $\Omega$
2	Sesudah di paralel	4,15 $\Omega$

C. Perhitungan penangkal petir

Panjang Gedung : 22 meter.

Tinggi gedung : 16 meter.

Lebar gedung : 32 meter.

Panjang terminasi : 2 meter.

Hari guruh : 85 /tahun 2022 kota tarakan.

Menghitung Indeks bahaya sambaran petir (R) menurut PUIL1983:

R = Indeks A + Indeks B + Indeks C + Indeks D + Indeks E

$$= 3 + 1 + 3 + 0 + 5$$

$$= \mathbf{12 \text{ (sedang)}}$$

Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata  $Km^2$ /tahun (SNI 03-7015-2004, h.8).

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} Km^2/tahun$$

$$= 0,04 .85^{1,25} Km^2/tahun$$

$$= 10,32 \text{ Sambaran}/Km^2/tahun$$

Menghitung area proteksi ( $A_c$ ) pada gedung SD Negeri 011 Tarakan.

Panjang terminasi : 2 meter.

Panjang gedung : 22 meter.

Lebar gedung : 32 meter.

Tinggi gedung : 15 meter.

Jenis gedung : beton.

$$A_c = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$$

$$= (22 . 32) + 6 . 15 (22 + 32) + 9 . 3,14 . 15^2$$

$$= 5.987,9 m^2$$

$$= 5,9879 Km^2$$

Setelah mendapatkan nilai dari area proteksi pada gedung sekolah dasar negeri 011 tarakan selanjutnya menentukan nilai jumlah rata-rata sambaran petir, untuk menentukan nilai jumlah rata-rata sambaran petir secara langsung yaitu dengan :

$$N_d = N_g . A_c$$

$$= 10,32 . 5,9879$$

$$= 61,795 \text{ sambaran}/Km^2/tahun$$

Dari data BMKG yang didapat nilai Frekuensi tahunan ( $N_c$ ) sebesar 0,1/tahun. Untuk menentukan tingkat proteksi pada suatu bangunan berdasarkan perhitungan  $N_d$  dan  $N_c$  adalah sebagai berikut:

- Jika nilai dari  $N_d \leq N_c$  maka tidak diperlukan pemasangan sistem proteksi sambaran petir.
- Jika nilai dari  $N_d \geq N_c$  maka diperlukan pemasangan sistem proteksi sambaran petir.

Dari perhitungan yang diperoleh nilai  $N_d$  adalah lebih besar dari  $N_c$  yaitu 61,795. Sehingga pada bangunan sekolah dasar negeri 011 tarakan ini sangat diperlukan untuk pemasangan sistem proteksi sambaran petir.

Dari nilai  $N_d$  kita dapat menentukan nilai dari efisiensi proteksi sambaran petir. Untuk menghitung nilai efisiensinya yaitu sebagai berikut:

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E \geq 1 - \frac{0,1}{61,795}$$

$$E \geq 0,99 \%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi yang didapat sebesar 0,99. Maka nilai dari efisiensinya dikategorikan proteksi tingkat I maka sekolah dasar negeri 011 tarakan ini membutuhkan pemasangan penangkal petir yang maksimal untuk melindungi bangunannya.

#### D. Analisa Metode Jala

Metode jala ini hanya membutuhkan satu parameter untuk menentukan batasan-batasan metode, yaitu tingkat proteksi gedung tersebut. Tingkat proteksi pada Gedung Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan adalah tingkat I oleh karena itu ukuran jala yang akan dipakai dalam penerapan metode jala ini adalah 5 x 5 m, minimum. Dari dimensi gedung dapat dilihat bahwa panjang atap 23 m, sehingga jala-jala konduktor yang dipasang tidak perlu memiliki luas 5 x 5 m. Penerapan metode jala ini dapat kita lihat pada gambar berikut. garis putus-putus yang digambarkan adalah konduktor di atas atap dan konduktor ke bawah.

### V. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah didapatkan dari Perancangan Metode Jala Sudut Proteksi Petir Eksternal pada Gedung Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a) Bangunan Sekolah Dasar Negeri 011 Tarakan memiliki ukuran panjang 22 m dan lebar 32 m serta tinggi 15 m, yang terletak pada daerah dengan tingkat kerawanan petir sedang yaitu 85 hari guruh per tahun, sehingga perhitungan yang diperoleh 10,32 Km<sup>2</sup>/tahun
- b) Berdasarkan tingkat proteksi I, sudut proteksi diperoleh sebesar 20<sup>0</sup> sehingga hanya dirancang menggunakan terminasi udara dengan menggunakan sudut proteksi.
- c) Perbandingan pentanahan Grounding dengan pentanahan menurut SNI yaitu pentanahan grounding mendapati nilai:
  - Tanah jenis tanah : 4,00 Ω (Tanah pasir)
  - Panjang Elektroda : 2 meter (Elektroda batang/pasak)
  - Diameter Elektroda : 16 mm = 0,016 meter
 Sedangkan pentanahan menurut SNI mendapati nilai:
  - Tanah jenis tanah : 100 Ω (Tanah pasir)
  - Panjang Elektroda : 2 meter (Elektroda batang/pasak)
  - Diameter Elektroda : 16 mm = 0,016 meter.
- d) Nilai grounding penangkal petir didapatkan 0,6 Ω sedangkan menurut SNI didapatkan 4,15 Ω dengan cara memperoleh 1 elektroda batang, sehingga total elektroda yang di paralel adalah 10 elektroda batang. Sehingga pada penangkal petir menggunakan metode sudut proteksi didapatkan hasil 8 terminasi udara untuk melindungi seluruh bangunan laboratorium dengan sudut proteksi 20<sup>0</sup>.

### REFERENSI

- [1] Ainun, R. & Abu Bakar Sidik, M., 2019. Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Aula Dan Pusat Kegiatan Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Sriwijaya. Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya , Volume 2, P. 117.
- [2] Bandri, S., 2012. Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Gedung Bertingkat ( Aplikasi Balai Kota Pariaman). Jurnal Momentum, Volume 13.
- [3] Hosea, E., Iskanto, E. & M. Luden, H., 2014. Penerapan Metode Jala,Sudut Proteksi Dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal Yang Diaplikasikan Pada Gedung W Universitas Kristen Petra. Jurnal Teknik Elektro, Volume 4, P. 1
- [4] Prayeni, P., P. & D., 2017. Evaluasi Sistem Penangkal Petir Pada Gedung Perkuliahan ( Studi Pada Universitas Negeri Jakarta Kampus A Sektor C). Journal Of Elektrikal And Vocational And Technology, Volume 2, P. 196.
- [5] Rohani & Yuniarti, N., 2017. Evaluasi Penangkal Petir Eksternal Di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta. Jurnal Edukasi Elektro, Volume 1.
- [6] Standarisasi Nasional. (2004). SNI 03-7013-2004. Tata Cara Perencanaan Fasilitas Lingkungan Rumah Susun Sederhana. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [7] Suardi, Moh. (2005). Belajar & Pembelajaran. Yogya:Dee Publish.
- [8] Sugiyono. (2009). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D. Bandung: Alfabeta
- [9] Supannur Bandri. (2012). Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Gedung Bertingkat
- [10] Sumardjati. Prih. DKK. (2008). Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik, Jilid I Penerbit : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [11] PUIL 1983 dan PUIL 2011

# EVALUASI SISTEM PENANGKAL PETIR EKSTERNAL MENGGUNAKAN METODE SUDUT PROTEKSI DAN BOLA BERGULIR PADA GEDUNG FKIP UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

Sugeng Riyanto<sup>1</sup>, Fedroyanto Appulembang<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>2</sup>fedroyantoappulembang@gmail.com

**Abstract**— *Lightning is a natural phenomenon that occurs in the atmosphere. Lightning is a surge of charge in the form of an electrical discharge from a charged cloud. The discharge that occurs can hit an object such as the earth's surface. The existence of tall buildings on the earth's surface is the closest object that can be struck by lightning. The effects of lightning strikes are very dangerous for humans and can cause damage to buildings. To prevent the danger of lightning strikes, a lightning rod is installed. Lightning protection consists of two types, namely internal lightning and external lightning protection. The research discussed external lightning protection. External lightning protection consists of Air Termination, Down Conductor and Earth Termination (Grounding). Based on the results of field measurements, the grounding calculation result was 2.11  $\Omega$ . The analysis using the protection angle method resulted in an angle formed of 45° with a base radius of 38.75 meters. Furthermore, employing the rolling sphere method produced a spherical radius of 60 meters and a lightning current of 234.89 kA..*

**Keywords**— *Grounding, Protection Angle, Rolling Sphere.*

**Intisari**— Petir adalah suatu fenomena alam yang terjadi di atmosfer. Petir merupakan suatu lonjakan muatan berupa pelepasan listrik dari awan yang bermuatan. Pelepasan muatan yang terjadi bisa saja mengenai suatu objek, pelepasan muatan atau petir biasanya adalah permukaan bumi. Adanya bangunan tinggi pada permukaan bumi menjadi objek yang terdekat yang bisa tersambar petir. Efek sambaran petir sangat berbahaya bagi manusia dan dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan. Untuk mencegah bahaya sambaran petir maka dipasanglah penangkal petir. Penangkal petir terdiri dari dua jenis yaitu penangkal petir internal dan penangkal petir eksternal. Pada penelitian membahas mengenai penangkal petir eksternal. Penangkal petir eksternal terdiri dari Terminasi Udara, Konduktor Penyalur ( *Down Conductor* ) dan Terminasi Bumi ( *Grounding* ). Berdasarkan hasil pengukuran lapangan didapatkan hasil perhitungan grounding sebesar 2,11  $\Omega$ . Hasil analisa dengan metode sudut proteksi dengan sudut yang terbentuk sebesar 45° dengan jari-jari alas 38,75 meter. Berdasarkan hasil analisa dengan metode bola bergulir dengan radius bola sebesar 60 meter dan arus petir sebesar 234,89 kA.

**Kata kunci** : *Grounding, Sudut proteksi, Bola bergulir*

## I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan wilayah terletak pada garis katulistiwa, yang berarti Indonesia merupakan daerah yang beriklim tropis sehingga hari guruh/petir yang terjadi itu sangat tinggi. Tingginya sambaran petir di Indonesia memungkinkan banyak terjadinya kerusakan

pada bangunan-bangunan yang bertingkat. Sehingga sangat diperlukan adanya proteksi dari sambaran petir tersebut untuk melindungi bangunan dan peralatan di dalamnya.

Untuk mencegah kerusakan dan kerugian akibat sambaran petir di gunakan sistem proteksi internal dan eksternal. Proteksi eksternal berfungsi untuk menangkap dan menyalurkan arus listrik akibat petir langsung menuju ke grounding. Sehingga arus listrik akibat petir dapat di netralkan ke bumi, tanpa menyebabkan kerusakan dan bahaya pada bangunan yang di proteksi.

Proteksi eksternal sangat di perlukan pada bangunan yang bertingkat karena merupakan daerah yang tinggi sehingga dapat menjadi obojek terdekat yang bisa di sambar petir. Bangunan yang tinggi akan menjadi saluran bagi petir untuk menyalurkan arus listrik ke bumi. Semakin tinggi dan besar suatu bangunan akan semakin besar kerusan dan gangguan yang ditimbulkan. Untuk melindungi bangunan yang bertingkat dari bahaya petir di perlukan instalasi proteksi eksternal yang handal dan memenuhi syarat.

Evaluasi terhadap sistem proteksi eksternal yang terpasang perlu dilakukan untuk mengatuhai apakah radius proteksi atau daerah yang di lindungi oleh sistem proteksi, sudah mencakup seluruh bangunan, agar bisa mencegah terjadinya kegagalan sistem proteksi yang dapat merusak bangunan bahkan bisa membahayakan manusia.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Sistem Penangkal Petir

Sistem proteksi eksternal dipasang pada bangunan untuk melindungi bangunan dari sambaran petir langsung dengan menyalurkan energi petir langsung ke bumi. Terminasi udara atau air terminal adalah bagian dari proteksi eksternal yang berupa elektroda batang dengan bahan tembaga, yang terpasang pada suatu titik tertinggi bangunan secara tegak maupun mendarat. Terminasi udara ini yang akan menangkap petir dan menyalurkannya langsung ketanah [5].

Konduktor penyalur arus petir adalah salah satu bagian dari sistem proteksi eksternal yang berfungsi menyalurkan arus petir dari sistem terminasi udara kemudian diteruskan kegrounding. Pentanahan adalah bagian akhir dari dari sistem proteksi eksternal terhdap petir ini. Pentanahan (Grounding) adalah bagian yang tertanam didalam tanah yang akan melepas arus petir kedalam tanah. Grounding ini berupa elektroda yang akan

tertancap kedalam tanah pada sekitar bangunan. Elektroda-elektroda ini telah dirancang khusus sedemikian rupa sehinggalah pada saat terjadi pelepasan arus kedalam tanah tidak menimbulkan lompatan tegangan yang berbahaya[1].

Untuk menghitung tanahan pentanahan dengan persamaan yang sudah ada dari sebelumnya berdasarkan standar yang ada yaitu [7] :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left[ \ln \left( \frac{4l}{A} \right) - 1 \right] \tag{1}$$

Keterangan :

- R = Tahanan pembumian elektroda (Ω)
- ρ = Tanahan jenis tanah (Ω)
- l = panjang elektroda (m)
- A = Diameter elektroda (m)

Untuk mencapai tahanan pembumian yang mendekati 0 maka dilakukan pemasangan grounding di beberapa titik yang dikombinasikan dengan hubungan paralel berdasarkan PUIL Tahun 2000 yaitu

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R_n} \tag{2}$$

**B. Besarnya kebutuhan bangunan akan system proteksi petir**

Berdasarkan tabel indeks-indeks menurut PUIPP yang telah dipilih menurut situasi dan kondisi bangunan maka indeks akan dijumlahkan sebagai acuan untuk perkiraan bahaya dan keperluan pengamanan. Adapun rumus yang digunakan berdasarkan ketentuan PUIPP yaitu [8]:

$$R = A + B + C + D + E \tag{3}$$

Menurut SNI 03-7015 menghitung rata-rata sambaran petir pertahun ketanah (Ng) dinyatakan sebagai [3] :

$$N_g = 0,04 \cdot T d^{1,25} / \text{km}^2/\text{tahun} \tag{4}$$

Menghitung jumlah sambaran petir langsung pertahun (Nd) berdasarkan SNI 03-7015 TAHUN 2004 yaitu dengan melakukan perkalian kerapatan sambaran petir (Ng) dengan luas perlindungan pada gedung (Ae) yaitu [3]:

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \tag{5}$$

Sedangkan untuk area cakupan berdasarkan SNI 03-7015 Tahun 2004 dengan persamaan sebagai berikut,

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \tag{6}$$

Keterangan :

- Nd = Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir pertahun
- a = Panjang atap gedung (m)
- b = Lebar atap gedung (m)
- h = Tinggi atap gedung (m)
- Ng = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/km<sup>2</sup>/tahunn)
- Ae = Luas daerah angka pada sambaran petir (km<sup>2</sup>)

Menentukan tingkat proteksi pada suatu bangunan di perlukan hasil perhitungan dari Nd yang akan menjadi menjadi perbandingan dengan frekuensi tahunan setempat (Nc). Dengan berdasarkan SNI 03-7015 Tahun 2004

dengan nilai Nc berdasarkan tingkat efisiensi penangkal petir [3].

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \tag{7}$$

Tabel I  
Efisiensi Sistem Penangkal Petir (SPP)

Tingkat proteksi	Efisiensi SPP E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

**C. Metode yang digunakan**

**1. Sudut Proteksi**

Metode sudut proteksi biasa juga disebut metode Franklin rod karena metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Benjamin Franklin. Metode ini berupa proteksi petir yang berbentuk kerucut tembaga dengan memiliki sudut proteksi berupa kerucut. Dimana daerah sudut lindung yang dibentuk berdasarkan tingkat proteksinya [2].

Tabel II

Besar sudut yang dibentuk berdasarkan tingkat proteksi

Tingkat Proteksi	Besarnya Sudut Terminasi Udara (°)			
	Ketinggian Bangunan			
	20 m	30 m	45 m	60 m
I	25°	-	-	-
II	35°	25°	-	-
III	45°	35°	-	-
IV	55°	45°	35°	25°

Berdasarkan tabel II maka dapat dihitung radius proteksi yang berupa alas kerucut berbentuk lingkaran dengan rumus sebagai berikut

$$r = h \cdot \tan \alpha \tag{8}$$

Keterangan :

- r = radius proteksi (m)
- h = tinggi bangunan ditambah terminasi udara (m)
- α = derajat sudut perlindungan (α°)

**2. Bola Bergulir**

Metode bola bergulir adalah metode yang menjadikan petir seumpama sebuah bola yang bergulir keatas tanah. Metode ini adalah metode yang cocok digunakan untuk bangunan dengan struktur yang rumit. Bola yang bergulir memiliki radius R yang akan jatuh menyentuh permukaan bumi atau bangunan yang berhubungan langsung sebagai suatu penghantar. Pada titik yang terkena bola bergulir ini yang akan menjadi tempat pemasangan terminasi udara [7].

Penempatan sistem terminasi udara menggunakan metode ini cukup memadai karena dengan menggunakan metode ini bola hanya boleh menyentuh tanah dan terminasi udara. Daerah yang diproteksi dengan bola dengan radius R di sekeliling dan di atas bangunan [2].

Tabel III  
Radius bola bergulir berdasarkan tingkat proteksi

Tingkat Proteksi	Radius bola bergulir (R) (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

Nilai R ditentukan berdasarkan tabel III yang digunakan berdasarkan tingkat proteksinya, dimana radius bola bergulir berhubungan dengan nilai arus, dimana radius bola bergulir berhubungan dengan nilai arus [2].

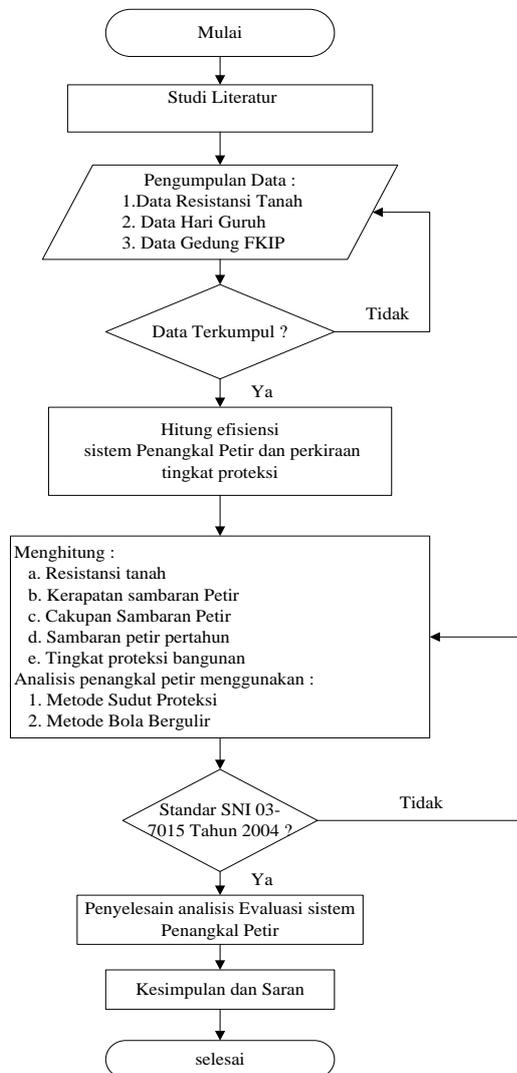
$$I = 0,75 \sqrt{R} \tag{9}$$

Keterangan :

I = Arus puncak petir (kA)

R = Radius (m)

### III. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif dengan pendekatan

kuantitatif. Metode deskriptif adalah metode yang digunakan untuk menguji hipotesis atau menjawab pertanyaan mengenai keadaan dan kondisi langsung mengenai objek penelitian yang kegiatannya berupa pengumpulan data.

Metode ini adalah metode dengan melakukan analisis, dimana analisis akan sampai pada tahap deskripsi. Metode ini akan menyajikan fakta dan menganalisis secara sistematis agar lebih mudah dipahami sehingga dapat disimpulkan. Berdasarkan simpulan yang dihasilkan jelas menurut dasar faktualnya sehingga data yang diperoleh langsung bisa dikembalikan.

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengukuran Pentanahan

##### 1. Berdasarkan Hasil Pengukuran

Tabel IV  
Hasil pengukuran grounding pada gedung FKIP

Lokasi Pengukuran	Tahanan (Ω)
Depan	1.34 Ω
Samping kanan	2.05 Ω
Samping Kiri	0.58 Ω
Belakang	1.1 Ω
Resistansi Tanah	2.11 Ω

Resistansi Tanah : 2,11Ω  
 Panjang Elektroda : 6000 mm = 6 meter  
 Diameter Elektroda : 50 mm =0,05 meter

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{A} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{2.11}{2\pi 6} \left[ \ln \left( \frac{4.6}{0.05} \right) - 1 \right]$$

$$= 0,2 \Omega$$

Ketika terdapat beberapa elektroda yang terpasang maka dilakukan perhitungan secara paralel

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2}$$

$$= 0,028 \Omega$$

##### 2. Berdasarkan SNI

Jenis Tanah : Tanah Liat (100Ω)  
 Panjang Elektroda : 6000 mm = 6 meter  
 Diameter Elektroda : 50 mm =0,05 meter

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{A} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{100}{2\pi 6} \left[ \ln \left( \frac{4.6}{0.05} \right) - 1 \right]$$

$$= 13.72 \Omega$$

Ketika terdapat beberapa elektroda yang terpasang maka dilakukan perhitungan secara paralel yaitu

$$\begin{aligned} \frac{1}{Rt} &= \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \dots + \frac{1}{Rn} \\ &= \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} + \frac{1}{13,72} \\ &= 1,96 \Omega \end{aligned}$$

**B. Perhitungan Penangkal Petir**

Berdasarkan perkiraan bahaya bangunan FKIP akibat sambaran petir didapatkan dengan menjumlahkan indeks-indeks berdasarkan kondisi bangunan dengan persamaan rumus

$$\begin{aligned} R &= A + B + C + D + E \\ &= 3 + 1 + 5 + 1 + 5 \\ &= 14 \end{aligned}$$

Tabel V  
Data hari Guruh di Tarakan tahun 2023

Bulan	Jumlah hari guruh
Januari	5
February	5
Maret	3
April	8
Mei	13
Juni	11
Juli	7
Agustus	11
Semtember	9
Oktober	7
November	3
Desember	1
<b>Jumlah total</b>	<b>83</b>

- Ukuran gedung
- Panjang Gedung : 21,5 meter
- Lebar gedung : 11,5 meter
- Tinggi bangunan : 26 meter
- Tinggi Atap : 10 Meter
- Panjang atap : 13,7 meter
- Lebar atap : 8,5 meter
- Tinggi Atap + Tinggi penangkal petir : 10 meter + 2,75 meter = 12,75 meter
- Tinggi bangunan + Terminasi udara : 26 meter + 12,75 meter = 38,75 meter

Perhitungan cakupan luas daerah yang memiliki angka sambaran petir (Ae) pada bangunan FKIP dapat di hitung menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} Ae &= ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \\ &= (13,7 \cdot 8,5) + 6 \cdot 12,75(13,7 + 8,5) + 9 \cdot \pi \cdot 12,75^2 \\ &= 6411,09 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan rata-rata sambaran petir pertahun ketanah (Ng) berdasarkan jumlah hari guruh pertahun dapat di hitung menggunakan persamaan rumus [4]

$$\begin{aligned} Ng &= 0,04 \cdot Td^{1,25} \text{ km}^2/\text{tahun} \\ &= 0,04 \cdot 83^{1,25} \text{ km}^2/\text{tahun} \\ &= 10,02 \text{ km}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah sambaran petir langsung pertahun (Nd) dengan melakukan perkalian kerapatan sambaran petir (Ng) dengan luas perlindungan pada gedung menggunakan persamaan rumus

$$\begin{aligned} Nd &= Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \\ &= 10,02 \cdot 6411,09 \cdot 10^{-6} \\ &= 0,64 \text{ sambaran petir pertahun} \end{aligned}$$

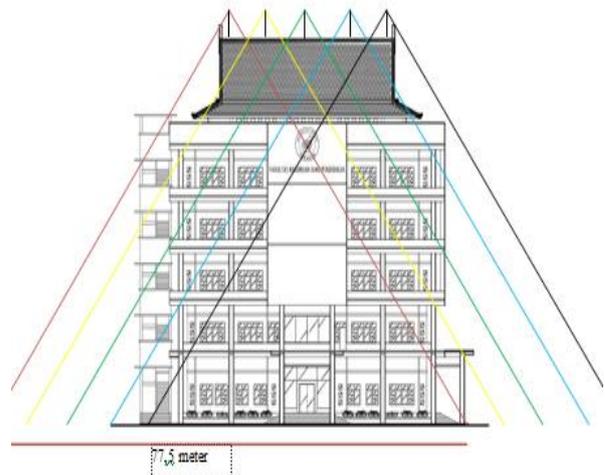
Menghitung tingkat proteksi pada bangunan yaitu hasil perhitungan dari Nd yang akan dibandingkan dengan frekuensi tahunan setempat (Nc) dengan nilai 0,1 berdasarkan persamaan rumus [4]

$$\begin{aligned} E &= 1 - \frac{Nc}{Nd} \\ &= 1 - \frac{0,1}{0,64} \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan maka tingkat proteksi bangunan gedung FKIP berada pada tingkat proteksi IV.

**C. Analisis Dengan Metode Sudut Proteksi**

Hasil perhitungan efisiensi sambaran petir menyatakan bahwa gedung FKIP berada pada tingkat proteksi IV. Berdasarkan tabel besar sudut yang dibentuk berdasarkan tingkat proteksi dengan tinggi bangunan ditambah tinggi atap dapat di lihat pada tabel sudut proteksi yang terbentuk sebesar 45°.

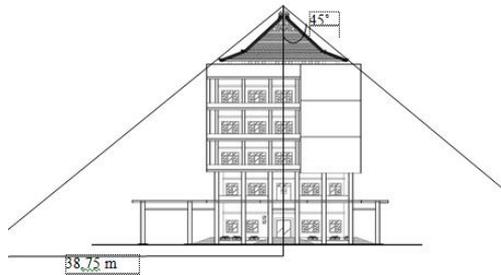


Gambar 2. metode sudut proteksi pada bangunan FKIP tampak depan

Area yang menjadi bagian dalam proteksi penangkal petir akan membentuk suatu kerucut, dengan puncak kerucut yaitu terminasi udaranya. Untuk mencari lebar alas dari sudut proteksi yang terbentuk, yaitu dengan menggunakan persamaan rumus

$$\begin{aligned} r &= h \cdot \tan \alpha \\ &= 38,75 \cdot \tan 45^\circ \\ &= 38,75 \text{ meter} \end{aligned}$$

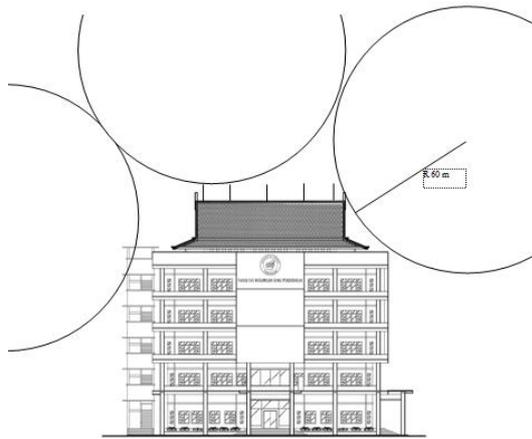
Jadi jari-jari alas yg terbentuk dari radius proteksi yang di hasilkan adalah jari-jari sebesar 38,75 atau dengan lebar 75,5 meter setiap terminasi udara yang terpasang.



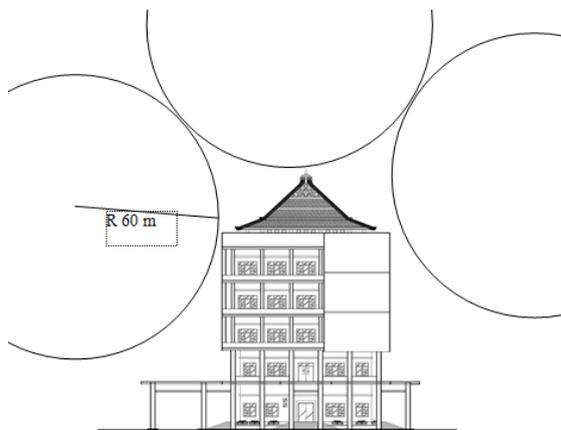
Gambar 3. metode sudut proteksi tampak samping

#### D. Analisis dengan metode bola bergulir

Untuk mengetahui radius petir yang berupa bola digunakan rumus berdasarkan tingkat proteksi pada bangunan gedung FKIP. Adapun tingkat proteksi bangunannya berada pada tingkat proteksi IV dengan radius proteksi berdasarkan tabel II maka radius proteksi dari bola yaitu sebesar 60 meter.



Gambar 4. metode bola bergulir pada gedung FKIP tampak depan.



Gambar 5. metode bola bergulir pada gedung FKIP tampak dari samping

Dapat dilihat bahwa bola dengan radius 60 meter digelindingkan ke bangunan gedung FKIP yang tampak dari samping pada gambar 4 dan 5, menunjukkan bahwa bola tidak menyentuh bagian dari gedung. Bola akan langsung menyentuh bagian terminasi udara dari penangkal petir.

Dengan radius yang diketahui sebesar 60 m maka besar arus sambaran petir dapat dihitung dengan persamaan rumus yaitu :

$$\begin{aligned}
 I &= 0,75 \sqrt{R} \\
 &= 0,75 \sqrt{60} \\
 &= 234,89 \text{ kA}
 \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan didapatkan hasil perhitungan grounding sebesar  $0,028 \Omega$  dan hasil perhitungan menurut SNI yaitu sebesar  $1,96 \Omega$ . Area cakupan luas yang memiliki angka sambaran petir sebesar  $6411,69 \text{ km}^2$  dan jumlah sambaran petir langsung pertahun yaitu 0,64 sambaran pertahun. Sehingga tingkat proteksi berada pada tingkat proteksi IV.

Berdasarkan hasil analisa dengan metode sudut proteksi dengan sudut yang terbentuk sebesar  $45^\circ$  dengan jari-jari alas 38,75 meter. Dapat dilihat bahwa area proteksi yang terbentuk dari sudut proteksi sudah mencakup seluruh bagian gedung. Berdasarkan hasil analisa dengan metode bola bergulir dengan radius bola sebesar 60 meter dan arus petir sebesar 234,89 kA. Dapat dilihat bahwa bola yang bergelir menyentuh terminasi udara terlebih dahulu sehingga bangunan tetap aman.

## REFERENSI

- [1]. Ginting, J. (2012). Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran Petir Pada Area Operasional PT. X. Universitas Indonesia
- [2]. Hosea, E., Iskanto, E., & Luden, H. M. (2004). Penerapan Metode Jala Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra. *Jurnal Teknik Elektro*, 4(1).
- [3]. Indonesia, B. S. N. (2004). SNI 03-7015-2004. Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Gedung. Standard Nasional Indonesia.
- [4]. International Electrotechnical Commission. (1990). International Standard IEC 61024-1 Protection of structures against lightning—Part 1: General principles.
- [5]. Karta, A., Agung, A. I., & Widyartono, M. (2020). Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 773-780.
- [6]. Nasional, B. S. (2000). Peraturan Umum Instalasi Listrik 2000. Yayasan P U IL, Jakarta.
- [7]. SEPTIYANTHY, R. (2015). ANALISIS PENERAPAN SISTEM PENANGKAL PETIR YANG DIGUNAKAN PADA GEDUNG PUSAT PERBELANJAAN (Studi Kasus di Mall Kota Kasablanka) (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA).
- [8]. Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

# MENGATUR KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN SLIDING MODE CONTROL (SMC) DENGAN FIELD ORIENTED CONTROL (FOC)

Abdul Muis Prasetya<sup>1</sup>, Linda Sartika<sup>2</sup>, Mukhlis<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara Indonesia

<sup>1</sup>prasetia.electric@gmail.com

<sup>2</sup>lindasartika75@gmail.com

<sup>3</sup>mukhlisnur14@gmail.com

**Abstract**— The industry in Indonesia is experiencing rapid growth, both in large and small sectors. A substantial portion of industrial machinery relies on electric power as its primary driving force, with the three-phase induction motor being one of the most commonly utilized components due to its affordability and high reliability. However, despite its advantages, the three-phase induction motor exhibits certain drawbacks, notably a decrease in speed as the load increases, which hinders its ability to maintain a consistent speed under varying load conditions. To mitigate this issue and ensure constant speed along with improved system performance in the face of load fluctuations, the implementation of a controller becomes essential. Sliding Mode Control (SMC) is one such approach, capable of compensating for parameter variations in the induction motor caused by changes in load. Additionally, Field Oriented Control (FOC) facilitates the independent regulation of the gain current and motor load current, thereby allowing for separate control of flux and torque. Based on the results of simulation and analysis, it was found that SMC with field oriented control is well used for speed regulation of three-phase induction motors.

**Keywords**— Field Oriented Control (FOC), Sliding Mode Control (SMC), Three Phase Induction Motor.

**Intisari**—Industri di Indonesia sedang berkembang pesat, baik di sektor besar maupun kecil. Seiring dengan pertumbuhan ini, diperlukan peralatan produksi yang efektif guna meningkatkan efisiensi waktu dan biaya. Motor induksi tiga fasa sering digunakan dalam industri karena harganya yang relatif terjangkau dan memiliki keandalan yang tinggi. Namun, disisi lain kelemahannya adalah kecepatan motor induksi tiga fasa yang menurun seiring dengan adanya peningkatan beban. Hal tersebut berdampak pada hilangnya kecepatan konstan motor saat kondisi beban yang bervariasi. Maka, diperlukan suatu pengontrol guna menjaga kecepatan tetap stabil dan meningkatkan performa sistem dalam menghadapi perubahan beban. Untuk mengatasi masalah tersebut Sliding Mode Control (SMC) digunakan guna mengatasi perubahan parameter akibat beban yang fluktuatif. Field Oriented Control (FOC) digunakan guna mengendalikan secara terpisah arus beban motor dan arus penguatan, sehingga fluks dan torsi dapat diatur secara independen. Berdasarkan hasil simulasi dan analisa didapatkan bahwa SMC dengan field oriented control baik digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.

**Kata Kunci**—Field Oriented Control (FOC), Motor Induksi Tiga Fasa, Sliding Mode Control (SMC).

## I. PENDAHULUAN

Industri di Indonesia sedang berkembang pesat baik pada sektor industri besar hingga kecil. Seiring dengan perkembangan tersebut, kebutuhan akan peralatan yang handal menjadi krusial guna meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses produksi. Mayoritas peralatan industri mengandalkan tenaga listrik sebagai sumber daya utama, dengan motor listrik sebagai salah satu komponen utamanya. Bila dibandingkan dengan motor DC motor induksi saat ini menjadi pilihan paling umum karena konstruksinya yang sederhana, harga yang relatif terjangkau, bobot yang ringan, efisiensi tinggi, serta kemudahan dalam perawatan. Namun, pengaturan kecepatan dan torsi pada motor induksi tidaklah mudah, sehingga diperlukan teknologi yang tepat untuk menjaga kestabilan putaran motor tersebut [1].

Motor listrik arus AC atau yang sering dikenal dengan motor induksi sangat populer di gunakan baik di bidang perindustrian maupun rumah tangga. Jenis motor induksi yang sering dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan satu fasa. Motor induksi tiga fasa banyak diaplikasikan di sektor industri karena harganya yang relatif terjangkau dan keandalannya yang tinggi [2]. Namun, motor ini memiliki kelemahan yaitu beberapa parameter karakternya bersifat tidak linier, sehingga kecepatan tidak dapat dijaga tetap konstan saat beban mengalami perubahan. Oleh karena itu, diperlukan pengontrol untuk mempertahankan kecepatan yang stabil dan meningkatkan performa sistem saat beban berubah [3].

Sliding Mode Control adalah metode kendali umpan balik dengan pensaklaran frekuensi tinggi yang memiliki kekokohan, sehingga diharapkan mampu mengatasi masalah perubahan parameter pada motor induksi akibat pembebanan. Perubahan parameter ini dapat menyebabkan perbedaan respon yang sangat kontras. Namun, kekurangan dari metode kendali Sliding Mode Control (SMC) adalah munculnya fenomena *chattering*, yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem kendali [4], [5].

Keterbatasan motor arus bolak-balik dalam hal pengontrolan dapat diatasi melalui dua pendekatan, yakni metode pengaturan skalar dan pengaturan vektor [6], [7]. Pengaturan skalar bekerja dalam keadaan *steady state* dan memerlukan pengaturan kecepatan sudut arus, tegangan, serta fluks linkage dalam ruang vektor. Namun, metode ini tidak efektif saat motor berada dalam kondisi *transient*

state. Untuk mengatasi masalah ini, pengaturan vektor digunakan, karena metode ini dapat bekerja dalam kondisi *transient state* dan tidak hanya mengontrol kecepatan sudut dan magnitudo, tetapi juga arus, tegangan, dan fluks. Salah satu metode pengaturan vektor yang banyak digunakan adalah FOC (*Field Oriented Control*). FOC menawarkan kinerja tinggi serta efisiensi yang optimal dalam berbagai aplikasi industri [6]. Sehingga, diharapkan dapat mengatasi permasalahan perubahan parameter yang terjadi.

Motor induksi tiga fasa memiliki proses kerja yang cukup kompleks, hal ini akibat kumparan rotor yang berputar relatif terhadap kumparan stator, yang masing-masing terdiri dari tiga fasa. Variabel-variabel seperti arus, tegangan, dan fluks linkage terus berubah seiring dengan waktu. Untuk mempermudah analisis motor induksi tiga fasa ini, sistem koordinat tiga fasa ( $a - b - c$ ) dapat diubah menjadi sistem koordinat rotasi dua fasa ( $d - q$ ), yang dikenal sebagai transformasi vektor [8].

II. LANDASAN TEORI

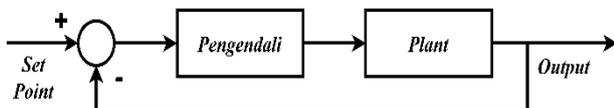
A. Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa adalah salah satu jenis motor listrik yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa putaran yang memiliki slip antara medan stator dan rotor dengan sumber tegangan tiga fasa [9]. Arus pada rotor motor ini tidak berasal dari sumber listrik eksternal, melainkan diinduksi akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dan medan putar [10].

Motor induksi tiga fasa adalah motor arus AC yang paling umum digunakan dalam berbagai proses industri. Penggunaannya yang luas didasarkan pada konstruksinya yang sederhana dan tangguh. Motor induksi tiga fasa menawarkan fleksibilitas, salah satunya adalah kemampuan untuk membalik arah putaran sesuai kebutuhan. Konstruksinya mirip dengan motor listrik lainnya, dengan dua komponen utama: stator yang tetap diam dan rotor yang berputar.

B. Sliding Mode Control (SMC)

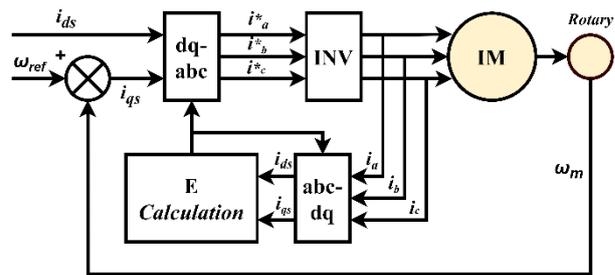
SMC (*Sliding Mode Control*) merupakan salah satu teknik kendali yang dikenal karena ketahanannya terhadap gangguan dan perubahan parameter. Namun, kekurangannya adalah munculnya fenomena *chattering*, yang dapat mempengaruhi stabilitas sistem kendali. SMC dirancang agar mampu menjaga kecepatan motor induksi tetap stabil sesuai referensi. Adapun Skema kontrol dari sistme ini adalah dengan memaksa vektor *error* dan delta *error* (*trayektory*) bergerak menuju permukaan lancar. Namun, penggunaan sistem ini dapat menimbulkan *chattering* yang berdampak negatif pada respon sistem, sehingga fenomena ini perlu dikurangi [4]. Gambar 1 merupakan blok diagram dari *sliding model control* (SMC).



Gambar 1. Blok diagram *sliding mode control*

C. Field Oriented Control (FOC)

FOC (*Field-Oriented Control*) merupakan metode yang bekerja dengan sistem *decoupling* guna mengatur kumparan medan pada motor induksi [11]. Dengan metode ini, arus jangkar dan arus medan pada motor dapat dikendalikan secara terpisah begitu pula dengan torsi dan fluks. Dalam penerapan FOC, kecepatan motor dipantau menggunakan sensor atau *tachometer*. Kecepatan referensi akan dibandingkan dengan kecepatan motor yang terdeteksi. Jika terdapat perbedaan, *error* tersebut dihitung oleh kontrol PI, yang kemudian mengirimkan sinyal ke sistem FOC. Sistem FOC kemudian mengirimkan sinyal ke rangkaian penyalan inverter untuk menyesuaikan tegangan dan arus rotor, sehingga menghasilkan torsi yang diinginkan. Kecepatan motor berubah menjadi lebih mendekati kecepatan referensi akibat proses perubahan torsi yang terjadi [12]. Gambar 2 merupakan blok diagram dari FOC.



Gambar 2. Blok diagram *field oriented control*

FOC (*Field-Oriented Control*) adalah metode pengendalian motor induksi yang meniru kontrol motor DC dengan memisahkan pengaturan arus penguat dan arus beban motor, sehingga fluks dan torsi dapat diatur secara terpisah. Metode ini melibatkan transformasi ( $d-q$ ) dan memungkinkan pencapaian respons torsi yang cepat [4], [8].

D. Transformasi Vektor

Motor induksi tiga fasa dalam kondisi dinamis adalah sistem yang cukup rumit karena kumparan rotor berputar relatif terhadap kumparan stator, dengan masing-masing bagian terdiri dari tiga fasa di mana variabel-variabel seperti arus, tegangan, dan *fluks linkage* berubah seiring waktu. Untuk mempermudah analisis motor induksi tiga fasa, sistem koordinat tiga fasa ( $a - b - c$ ) dapat direpresentasikan dalam sistem koordinat rotasi dua fasa ( $d - q$ ), yang dikenal sebagai transformasi vektor [4], [8]. Transformasi ini dilakukan dalam dua tahap yaitu:

1. Transformasi Clark

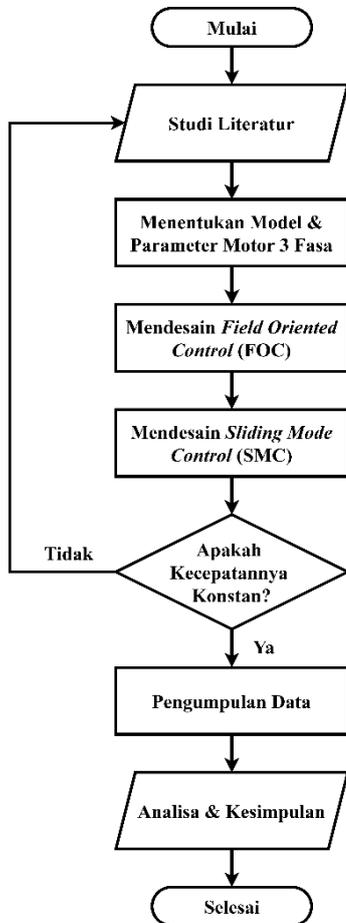
Transformasi Clark adalah proses mengubah sistem koordinat tiga fasa yang stasioner menjadi sistem koordinat dua fasa yang dikenal sebagai sistem koordinat ( $\alpha - \beta$ ). Ini melibatkan perubahan dari sistem koordinat tiga fasa ( $a - b - c$ ) ke dalam sistem koordinat dua fasa ( $d - q$ ) [4], [8].

2. Transformasi Park

Transformasi Park adalah metode untuk mengubah sistem koordinat ( $\alpha - \beta$ ) menjadi sistem koordinat ( $d - q$ ). Proses ini mengkonversi sistem koordinat ( $\alpha - \beta$ ) ke dalam sistem koordinat rotasi ( $d - q$ ) [4], [8].

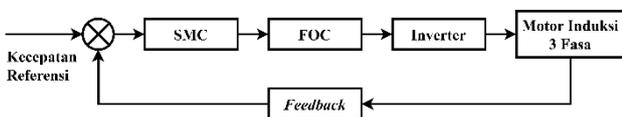
### III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini di laksanakan di LAB. Konversi Tenaga Listrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan dengan menggunakan *software* simulasi, lama dari penelitian dilaksanakan dalam waktu kurang lebih 6 bulan adapun Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah Laptop untuk menjalankan *software* yang digunakan. Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan-tahapan seperti pada *flowchart* yang tertampil pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flowchart* penelitian

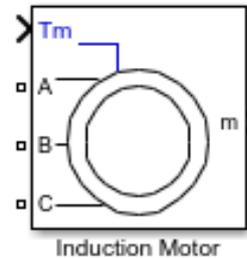
Pada diagram blok yang ditampilkan pada Gambar 4. kecepatan motor induksi diumpkan balik kemudian dibandingkan dengan kecepatan referensi. Apabila terdapat *error*, *error* tersebut menjadi input SMC sebagai *control* utama, selanjutnya SMC memberikan sinyal kepada sistem FOC dimana keluaran FOC yaitu ( $i_{abc}^*$ ) yang kemudian diubah ke dalam sinyal PWM oleh inverter. Inverter mengubah tegangan dan arus dari, sehingga di peroleh torsi yang diinginkan sehingga kecepatan motor mendekati kecepatan referensi,



Gambar 4. Blok Diagram

#### A. Model Motor Induksi Tiga Fasa

Model motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah sangkar tupai (*squirrel cage*). Keluaran motor yang didapatkan berupa kecepatan torsi, arus tiga fasa, torsi elektromagnetik, dan theta. Model motor induksi tiga fasa ditampilkan pada Gambar 5 dan parameter motor induksi tiga fasa ditampilkan pada Tabel 1.



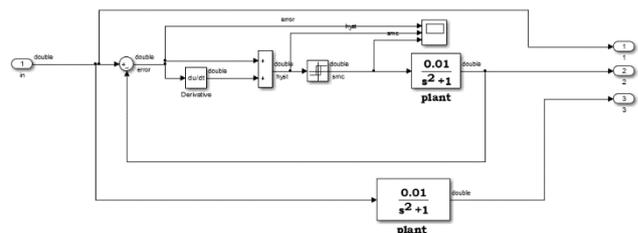
Gambar 5. Model motor induksi tiga fasa

Tabel I  
Parameter Motor Induksi Tiga Fasa

No	Nama	Satuan	Nilai
1	Tegangan Sumber ( $V_{L-L}$ )	V <sub>AC</sub>	460
2	Frekuensi (F)	Hz	50
3	Tahanan Stator ( $R_s$ )	Ohm	2.76
4	Tahanan Rotor ( $R_r$ )	Ohm	3.11
5	Induktansi Stator ( $L_s$ )	mH	11.8e-3
6	Induktansi Rotor ( $L_r$ )	mH	11.8e-3
7	Induktansi Mutual ( $L_m$ )	mH	188.2e-3
8	Jumlah Pole	-	2
9	Inersia Rotor ( $J_r$ )	Kg.m <sup>2</sup>	0.3
10	Tenaga Motor	KW	50

#### B. Kontrol SMC

SMC (*Sliding Mode Control*) bertujuan untuk mengarahkan *trajektori state* dari *error* menuju sebuah permukaan yang ditentukan oleh perancang (*sliding surface*) dan menjaga agar *trajektori error* tetap berada pada permukaan tersebut, sehingga sesuai dengan permukaan yang diharapkan. Kontrol ini terdiri dari dua tahap yakni tahap pertama berfungsi untuk memperbaiki sinyal kesalahan dengan mengarahkan sinyal tersebut ke *sliding surface*, dan tahap kedua bertujuan untuk mempertahankan sinyal pada *sliding surface*. Adapun blok simulasi *sliding mode control* ditampilkan pada Gambar 6.

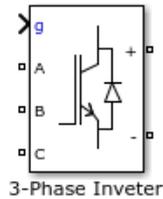


Gambar 6. Blok simulasi SMC

#### C. Inverter

Inverter merupakan rangkaian flip-flop yang mengkonversi listrik DC ke AC dengan tegangan dan frekuensi yang dapat disesuaikan sesuai kebutuhan. Pengaturan tegangan pada inverter umumnya dilakukan menggunakan metode PWM (*Pulse Width Modulation*).

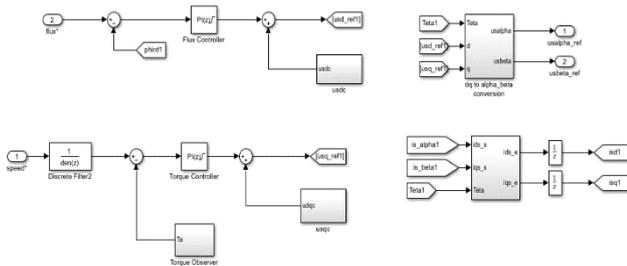
Biasanya, inverter memiliki tegangan output yang berubah seiring dengan perubahan beban, namun dengan menggunakan metode PWM perubahan ini dapat dikendalikan lebih baik untuk mempertahankan tegangan output yang stabil. Inverter yang digunakan adalah inverter tiga fasa yang dilengkapi dengan komponen *switching* berupa IGBT. Nilai *snubber* yang digunakan memiliki *resistance* (Rs) sebesar 1e-5 ohm dan *snubber capacitance* (Cs) sebesar 1e-6 dengan tujuan mendapatkan *snubber* yang bersifat resistif. *Internal resistance devais* yang dipilih untuk IGBT (Ron) adalah sebesar 1e-3 ohm dan *forward voltage device*  $V_f$  1.1 volt sedangkan untuk *diode*  $V_{df}$  0.75 volt. Model inverter ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model inverter

D. Vector Control

Dalam pemodelan pengaturan vektor ini, terdapat koneksi antara pengaturan vektor tegangan dan PWM, yang berfungsi untuk mengatur amplitudo serta frekuensi pada inverter. Proses ini mengontrol aktifnya IGBT di dalam inverter, sehingga frekuensi yang diinginkan dapat diperoleh untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa. Gambar 8. memperlihatkan pengaturan vektor yang digunakan untuk menyetel rangkaian pengontrol vektor tersebut..



Gambar 8. Rangkaian *vector control*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Respon Kecepatan Motor Secara *Open Loop*

Gambar 9 menampilkan hasil simulasi yang telah dilakukan. Berdasarkan gambar yang tertampil didapatkan hasil respon *steady state* sebesar 1496 rpm, *rise time* 0,10663s, *settling time* 0,625 dan *error steady state* 0,0026 %. Untuk mengetahui *error steady state* Langkah awal yang harus dilakukan yakni dengan melakukan perhitungan kecepatan medan putar stator. Adapun perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (1).

$$N_s = \frac{120 \times f}{P} = \frac{120 \times 50}{2} = 3000 \text{ rpm} \tag{1}$$

Setelah memperoleh kecepatan medan putar, maka dapat dilakukan perhitungan *rise time*. Rentang waktu yang di ukur pada *rise time* mulai dari respon 10% sampai

dengan 90% dari respon *steady state*. Untuk menghitung *rise time* ini dapat dilakukan menggunakan persamaan (2) dan (3) Dimana *steady state* yang diperoleh berdasarkan hasil simulasi yakni 2992 rpm.

$$t_{10\%} = 2992 \times 10\% = 299,2 \text{ rpm} \rightarrow 0,07256 \text{ s} \tag{2}$$

$$t_{90\%} = 2992 \times 90\% = 2692,8 \text{ rpm} \rightarrow 0,56225 \text{ s}$$

$$t_{90\%} - t_{10\%} = 0,56225 \text{ s} - 0,07256 \text{ s} = 0,48969 \text{ s} \tag{3}$$

Selain menghitung *rise time*, dilakukan pula perhitungan *settling time*. Ukuran waktu yang menyatakan respon telah masuk 5%, 2% atau 0,5% dari respon *steady state*. Adapun perhitungan tersebut dapat dilakukan dengan persamaan (4).

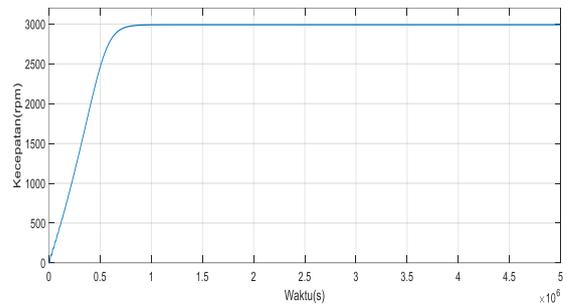
$$t_s(5\%) = 2992 \text{ rpm} - (2992 \text{ rpm} \times \frac{5}{100}) \tag{4}$$

$$2992 \text{ rpm} - 149,6 \text{ rpm} = 2842,4 \text{ rpm} \rightarrow 0,624881 \text{ s}$$

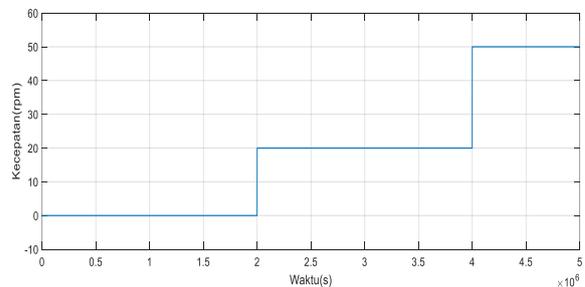
*Error steady state* merupakan perbedaan jarak antara posisi beban berhenti dengan posisi set point yang telah ditentukan. Untuk melakukan perhitungan *Error steady state* dapat menggunakan persamaan (5).

$$ess = \frac{3000 \text{ rpm} - 2992 \text{ rpm}}{2992 \text{ rpm}} \times 100\% = 0,26\% \tag{5}$$

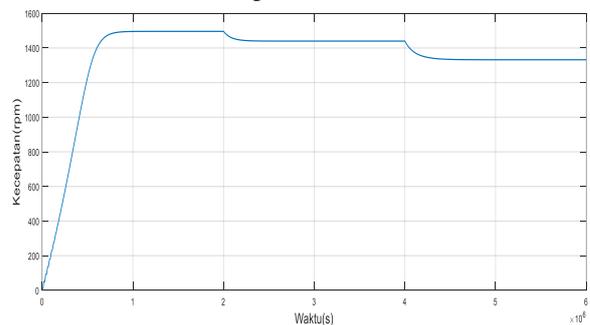
B. Uji Respon Kecepatan Motor Berbeban



Gambar 9. Respon kecepatan motor secara *open loop*



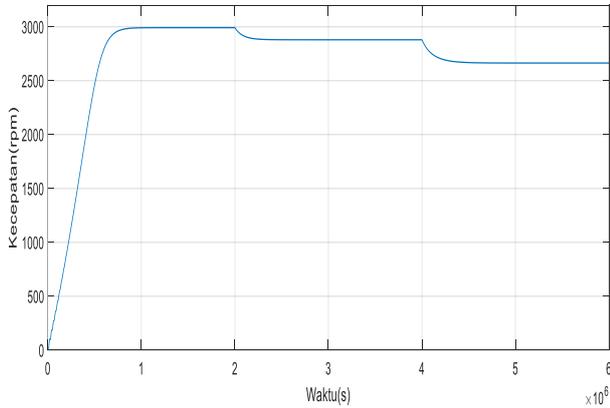
Gambar 10. Respon torsi motor berbeban



Gambar 11. Respon motor dengan beban

Gambar 10. merupakan hasil respon torsi beban dan Gambar 11. adalah respon kecepatan motor induksi tiga fasa dengan beban. Berdasarkan gambar tersebut respon kecepatan mengalami penurunan ketika diberikan beban 20 N.m pada detik ke 2 dan 40 N.m pada detik ke 4.

C. Uji Respon Kecepatan Motor Menggunakan SMC



Gambar 12. Respon kecepatan motor menggunakan SMC

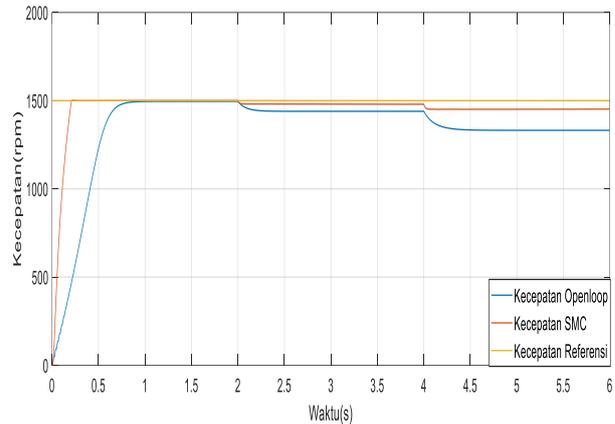
Tabel II  
Respon Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa

Hasil respon	Steady state (rpm)	Rise time (s)	Settling time (s)	Error steady state (%)
Open loop	1496	0,489	0,624	0,26
SMC	1500	0,148	0,190	0

Gambar 12. merupakan respon kecepatan motor menggunakan SMC. Berdasarkan gambar tersebut pada kondisi kecepatan yang sama dengan kecepatan referensi 1500 rpm diperoleh *rise time* 0,1480 s, *settling time* 0,1901, dan *error steady state* sebesar 0 %. Adapun perbandingan hasil respon motor induksi tiga fasa *open loop* dengan SMC ditampilkan pada Tabel II. Berdasarkan tabel tersebut hasil respon SMC memiliki nilai terbaik dimana *error steady state* yang diperoleh yakni sebesar 0 %. Selain itu, rentang *rise time* dan *settling time* dari SMC juga lebih singkat bila dibandingkan dengan hasil respon *open loop*.

D. Uji Respon Kecepatan Menggunakan SMC Berbeban

Berdasarkan hasil simulasi motor induksi yang dilakukan menggunakan metode SMC dengan kecepatan referensi 1500 rpm didapatkan respon *steady state* sebesar 1500 rpm ketika diberi beban 20 N.m pada detik ke dua kecepatan SMC menurun dengan *steady state* 1481 rpm, *settling time* 0,1856 s, *rise time* 0,1444 s, dan *error steady state* 1,28 % dan pada saat diberi beban 50 N.m didetik keempat kecepatan mengalami penurunan lagi hingga *steady state* 1451 rpm, *settling time* 0,5168, *rise time* 0,4264, dan *error steady state* 3,37 %. Adapun kurva respon kecepatan motor ditampilkan pada Gambar 13. Selain itu, pada Tabel III ditampilkan hasil respon motor induksi tiga fasa berdasarkan variasi beban.



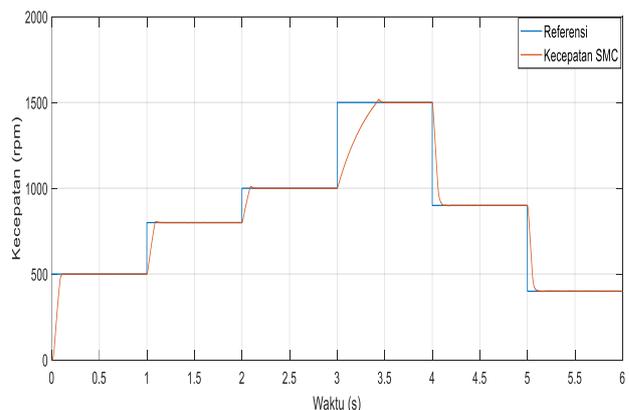
Gambar 13. Respon kecepatan dengan SMC berbeban

Tabel III  
Hasil Respon Kecepatan Motor

Hasil Respon	Beban 20 N.m		Beban 50 N.m	
	Open Loop	SMC	Open Loop	SMC
Steady state	1440 rpm	1481 rpm	1332 rpm	1451 rpm
Settling time	0,577 s	0,185 s	0,516 s	0,179 s
Rise time	0,461 s	0,144 s	0,426 s	0,139 s
Error steady state	4,16 %	1,28 %	12,6 %	3,37 %

E. Uji Respon Kecepatan Referensi

Gambar 14. merupakan respon kecepatan referensi variasi motor induksi tiga fasa. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan bahwa hasil respon kecepatan SMC dapat mengikuti kecepatan referensi yang diinginkan. Pada detik nol dengan kecepatan referensi 500 rpm *steady state* nya yaitu 500 rpm, pada detik kedua kecepatan referensi 1000 rpm *steady state* nya yaitu 1000 rpm, pada detik ketiga dengan kecepatan referensi 1500 *steady state* nya yaitu 1500 rpm dan pada detik keempat kecepatan referensi 800 rpm didapatkan *steady state* nya 800 rpm untuk kecepatan referensi 400 didapatkan *steady state* nya 400.



Gambar 13. Hasil respon kecepatan referensi

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan pada dapat disimpulkan bahwa penggunaan *Sliding Mode Control* (SMC) dengan *Field Oriented Control* (FOC) sebagai pengatur kecepatan motor induksi tiga fasa mendapatkan hasil respon yang baik dengan *steady state* 1500 rpm, *rise time* 0,1480 s, dan *settling time* 0,1900 s. Hasil yang diperoleh membuktikan bahwa *sliding mode control* dengan *field oriented control* baik digunakan untuk pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya yang telah memberikan kekuatan, kesehatan, dan ketabahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada kedua orang tua atas doa, dukungan, dan cinta kasih yang tiada henti mereka berikan yang menjadi pendorong dan motivasi terbesar dalam menyelesaikan penelitian ini. Selain itu, penulis juga sangat berterima kasih kepada semua pihak yang telah terlibat langsung maupun tidak langsung dalam proses penelitian ini, yang telah memberikan bantuan, saran, dan bimbingan sehingga artikel ilmiah ini dapat terselesaikan sesuai harapan.

Ucapan terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada dewan redaksi jurnal atas dedikasi dan waktu yang telah mereka luangkan dalam menyusun dan menyediakan *template* ini yang sangat membantu penulis dalam menyusun artikel ini dengan format yang tepat dan terstruktur. Tanpa dukungan dari berbagai pihak penelitian ini tidak akan mungkin terselesaikan dengan baik, dan untuk itu, penulis sangat berterima kasih atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan.

## REFERENSI

- [1] S Evalina, Noorly, Abdul Azis, and Zulfikar Zulfikar. "Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Programmable Logic Controller." *JET (Journal of Electrical Technology)* 3.2 (2018): 73-80.
- [2] Ahmad, Ahmad, Elvira Zondra, and Hazra Yuvendius. "Analisis Efisiensi Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Perubahan Tegangan." *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri* 5.1 (2020): 35-43.
- [3] Muslim, Buhari. *Kendali Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Menggunakan Kontroler FUZZY-PID*. Diss. Institut Technology Sepuluh Nopember, 2015.
- [4] Utoro, Muhammad Ridho, and Josaphat Pramudijanto. "Perancangan dan Implementasi Kontroler Sliding Mode Pada Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa." *Jurnal Teknik ITS* 3.1 (2014): F84-F89.
- [5] Al Alim, M. Fatah. "Perancangan Sistem Kendali Autopilot pada *Unmanned Surface Vehicle* (USV) Tipe Monohull Lss01 Menggunakan Metode Pid-Based Sliding Mode Control (SMC)" Diss. Institut Technology Sepuluh Nopember, 2019.
- [6] Faizi, M. Nur, and Fadli Gustame. "Pengontrolan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode *Sliding Mode Control* (SMC) Berbasis Algoritma Genetika." *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*. 2021.
- [7] Ramadhani, Indah. "*Desain Direct Torque Control (Dtc) Dengan Fuzzy Mamdani-Pd untuk Pengendalian Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa*". Diss. Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2022.
- [8] Rakhmawan, Rizqa Agung, Ibrahim Nawawi, and Agung Trihasto. "Kendali Torsi Motor Brushless Direct Current (BLDC) Menggunakan Metode Direct Torque Control (DTC)." *THETA OMEGA: JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, COMPUTER AND INFORMATION TECHNOLOGY* 2.2 (2021): 31-36.
- [9] Muratno, Muratno, and Misdi Misdi. "PENGUJIAN DAN ANALISIS MOTOR ASINKRON TIGA FASA PADA LABORATORIUM ELEKTRO." *JURNAL TEKNIK MESIN* 9.1 (2020): 46-57.
- [10] Suwarni, Suwarni, and Abdul Muis Prasetya. "Pengaturan kecepatan motor induksi tiga fasa dengan direct torque control menggunakan jaringan saraf tiruan." *JURNAL ELTEK* 20.2 (2022): 24-32.
- [11] Andriami, Sri Muntiah, et al. "PEMODELAN SISTEM FOC KENDALI KECEPATAN MOTOR INDUKSI 3 FASA MENGGUNAKAN PI CONTROLLER." *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan* 20.1 (2023): 23-34.
- [12] Irawan, Dwi R., Glanny M. Ch Mangindaan, and Lily S. Patras. "Analisa Kestabilan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Berbasis Field Oriented Control (FOC)." *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 5.3 (2016): 80-86.

# PERBANDINGAN KENDALI LOGIKA FUZZY DAN JARINGAN SARAF TIRUAN PADA SISTEM EKSTIASI *AUTOMATIC VOLTAGE* REGULATOR UNTUK GENERATOR SINKRON

Abdul Muis Prasetya<sup>1</sup>, Linda Sartika<sup>2</sup>, Adjie Satria<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>prasetia.electric@gmail.com

<sup>2</sup>lindasartika75@gmail.com

<sup>3</sup>satriadunia@gmail.com

**Abstract**— Synchronous generators require a device that functions to regulate the terminal voltage to be maintained, the device is known as an Automatic Voltage Regulator (AVR) or a device that can supply excitation current to the generator so that the generator terminal voltage remains stable. This research compares two different controls, namely fuzzy logic and artificial neural networks on AVR which are expected to regulate the generator terminal voltage at a nominal 220V. Artificial neural network research data is taken from the input and output of PID control while fuzzy logic rules design using trial and error method on the same AVR. The results showed the transient response of the generator performance with the results that fuzzy logic produced a response delay Time ( $t_d$ ) 1.058s, rise Time ( $t_r$ ) 2.576s, peak Time ( $t_p$ ) 20s, settling Time ( $t_s$ ) 5.354s, maximum overshoot ( $M_p$ ) 0%, steady state error ( $e_{ss}$ ) 0%. Artificial neural network produces response delay Time ( $t_d$ ) 1.031s, rise Time ( $t_r$ ) 1.518s, peak Time ( $t_p$ ) 3.128s, settling Time ( $t_s$ ) 2.3286s, maximum overshoot ( $M_p$ ) 1.345%, steady state error ( $e_{ss}$ ) 0.045%. Based on the transient response value, fuzzy logic has a slower response than artificial neural networks, but fuzzy logic can minimize overshoot.

**Keywords**— AVR, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, Synchronous.

**Intisari**— Generator Sinkron memerlukan alat yang berfungsi untuk mengatur tegangan terminal tetap terjaga, alat tersebut dikenal sebagai Automatic Voltage Regulator (AVR) atau alat yang dapat arus eksitasi yang disuplai ke generator sehingga tegangan terminal generator tetap stabil. Penelitian ini membandingkan dua kendali yang berbeda yaitu logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan pada AVR yang diharapkan dapat mengatur tegangan terminal generator pada nominal 220V. Data penelitian jaringan saraf tiruan diambil dari *input* dan *output* kendali PID sedangkan desain *rules* logika fuzzy menggunakan metode *trial and error* pada AVR yang sama. Hasil penelitian menunjukkan respon *transient* kinerja generator dengan hasil yaitu Logika fuzzy menghasilkan respon *delay Time* ( $t_d$ ) 1.058s, *rise Time* ( $t_r$ ) 2.576s, *peak Time* ( $t_p$ ) 20s, *settling Time* ( $t_s$ ) 5.354s, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) 0%, *error steady state* ( $e_{ss}$ ) 0%. Jaringan saraf tiruan menghasilkan respon *delay Time* ( $t_d$ ) 1.031s, *rise Time* ( $t_r$ ) 1.518s, *peak Time* ( $t_p$ ) 3.128s, *settling Time* ( $t_s$ ) 2.3286s, *maximum overshoot* ( $M_p$ ) 1.345%, *error steady state* ( $e_{ss}$ ) 0.045%. Berdasarkan nilai respon *transient* logika fuzzy memiliki respon lebih lambat dibandingkan jaringan saraf tiruan, akan tetapi logika fuzzy dapat meminimalisir overshoot.

**Kata Kunci**— AVR, Generator Sinkron, Jaringan Saraf Tiruan, Logika Fuzzy.

## I. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik yang umum digunakan adalah generator yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis generator yang sering digunakan dalam pembangkit energi listrik adalah generator Sinkron. Generator Sinkron dalam pengoperasiannya membutuhkan sistem proteksi yang dapat menjaga sistem keandalannya sehingga dapat menjaga kestabilan tegangan yang dihasilkan. Salah satu yang menyebabkan generator tidak aman adalah beban yang berubah-ubah dari konsumen listrik yang mengakibatkan tegangan pada terminal generator tidak setabil, sehingga dibutuhkan Automatic Voltage Regulator (AVR) yang mampu untuk menstabilkan tegangan keluaran generator sinkron, di mana AVR akan mengatur tingkat arus eksitasi sebagai penguatan medan magnet [1]. Logika fuzzy adalah himpunan yang unsur-unsurnya mempunyai derajat keanggotaan atau kesesuaian dengan konsep yang merupakan syarat keanggotaan himpunan tersebut. Logika fuzzy digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari *input* menuju ke *output* yang diharapkan [2]. Jaringan saraf tiruan merupakan implementasi dari teknologi artificial intelligent. Jaringan saraf tiruan adalah sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan saraf biologi. Pada dasarnya jaringan saraf tiruan adalah pendekatan rekayasa neuron biologis yang memiliki perangkat dengan banyak input dan satu output. JST terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan sederhana yang saling berhubungan satu sama lain dan juga berlapis [3].

## II. LANDASAN TEORI

### A. Automatic Voltage Regulator (AVR)

Automatic Voltage Regulator (AVR) adalah sebuah divais pengatur tegangan yang digunakan pada generator sinkron untuk menyetabilkan tegangan keluaran yang dihasilkan. Bagian AVR terbagi pada dua bagian utama yaitu bagian penyearah (*rectifier*) yang berfungsi untuk mengubah energi AC menjadi DC yang dibutuhkan oleh generator sinkron dalam proses eksitasi dan bagian *voltage regulator* terdapat kontrol PI yang berfungsi untuk mengatur tegangan DC yang akan diinjeksikan pada medan generator sinkron. Masukan dari pengatur tegangan merupakan tegangan DC yang berasal dari

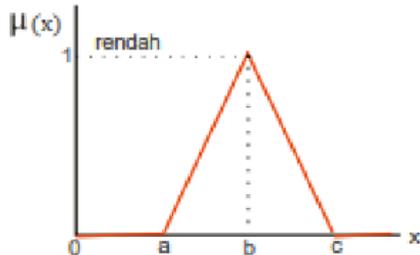
penyearah serta tegangan referensi yang diinginkan dengan kontrol PI yang digunakan maka didapat keluaran berupa tegangan eksitasi yang menjadi masukan generator sinkron. Apabila tegangan output generator dibawah tegangan normal tegangan generator, maka AVR akan memperbesar arus penguatan (*excitacy*) pada *exiter*. Dengan demikian apabila terjadi perubahan tegangan output generator akan dapat distabilkan oleh AVR secara otomatis [4].

**B. Logika Fuzzy**

Logika fuzzy memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 hingga 1. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Logika fuzzy adalah himpunan yang unsur-unsurnya mempunyai derajat keanggotaan atau kesesuaian dengan konsep yang merupakan syarat keanggotaan himpunan tersebut. Logika fuzzy digunakan sebagai suatu cara untuk memetakan permasalahan dari input menuju ke output yang diharapkan. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan fuzzy [5]. Tahapan logika fuzzy meliputi 3 langkah, yakni *fuzzification*, modifikasi keanggotaan (*Rules Base*) dan *defuzzification*:

**1. Fuzzification**

*Fuzzification* merupakan tahapan yang bertujuan untuk membuat variabel *real* berubah menjadi variabel *fuzzy*. Langkah melakukan *fuzzification* yaitu melalui pemodelan fungsi keanggotaan sehingga dapat diketahui besar kecilnya input (derajat keanggotaan). Adapun fungsi keanggotaan ( $\mu[x]$ ) seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Fungsi keanggotaan kurva segitiga

Fungsi keanggotaan menggunakan Persamaan (1):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-a)} & ; b \leq x \leq c \end{cases} \quad (1)$$

Dengan *a* adalah nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol, *b* adalah nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu, *c* adalah nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu dan *x* adalah nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan fuzzy.

**2. Rules Base**

Aturan fuzzy diungkapkan dalam bentuk “IF antecedent THEN consequent” yang mana adalah inti dari relasi fuzzy. Fungsi implikasi yang bisa digunakan dalam fuzzy metode mamdani adalah dengan menggunakan fungsi min. Fungsi min menggunakan Persamaan (2):

$$a1 = \min\{\mu_{Ai}[x], \mu_{Bi}[x]\} \quad (2)$$

Dengan *a1* adalah nilai *minimum* dari himpunan fuzzy *A* dan *B* pada aturan ke-*i*.  $\mu_{Ai}[x]$  adalah derajat keanggotaan *x* dari himpunan fuzzy *A* pada aturan ke-*i*.  $\mu_{Bi}[x]$  adalah derajat keanggotaan *x* dari himpunan fuzzy *B* pada aturan ke-*i*.

**3. Defuzzification**

*Defuzzification* bisa diartikan proses mengubah variabel fuzzy yang dinyatakan dalam sebuah bentuk himpunan fuzzy output dengan *membership function* untuk mengembalikan kebentuk nyata, untuk *Defuzzification* menggunakan Persamaan (3):

$$Defuzzifikasi = \frac{\sum_{i=1}^{A1} x_i \mu_{Ai}}{\sum_{i=1}^{A1} \mu_{Ai}} \quad (3)$$

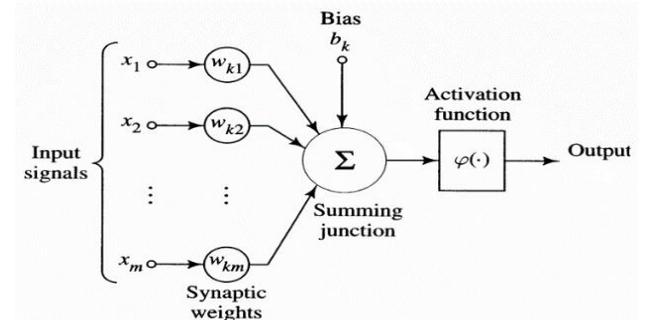
Dengan *A* adalah luas area, serta *Xi* adalah *centroid* atau titik pusat rata rata.

**C. Jaringan Saraf Tiruan**

Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan metode komputasi yang menyerupai jaringan saraf biologis. JST dibangun guna menyelesaikan masalah tertentu, misalnya mengenali pola atau mengklasifikasi karena adanya proses pembelajaran.

**1. Model Jaringan Saraf Tiruan**

Sebuah sel saraf terdiri dari tiga bagian, yaitu: fungsi jumlah (*summing function*), fungsi aktivasi (*activation function*), dan *output*. Jika nilai input melampaui nilai ambang batas tertentu, maka *neuron* akan teraktivasi, jika tidak maka *neuron* tidak akan teraktivasi. Secara umum, arsitektur JST dibedakan menjadi beberapa, yaitu jaringan dengan lapisan tunggal, lapisan banyak, dan lapisan kompetitif. Untuk pemodelan JST seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model neuron pada Jaringan Saraf Tiruan

Dengan *x* adalah *input*, *w* adalah bobot, Σ adalah proses pengumpulan data, φ adalah fungsi aktivasi, dan *y* adalah *output*.

**2. Fungsi Aktivasi**

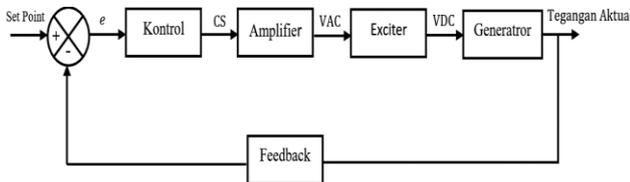
Fungsi aktivasi berfungsi menjembatani perbandingan antara hasil penjumlahan nilai semua bobot yang akan datang dengan nilai input dengan suatu nilai ambang (*threshold*) tertentu pada setiap *neuron* JST. Fungsi aktivasi inilah yang akan menentukan besarnya bobot. Beberapa fungsi aktivasi yang biasa digunakan adalah:

- a. *Logsig* (fungsi *sigmoid biner*); nilai output pada range 0 sampai 1.
- b. *Tansig* (fungsi *sigmoid bipolar*); maksimal output dari fungsi ini pada range -1 sampai 1.
- c. *Purelin* (fungsi *linier*); nilai output sama dengan nilai input.

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Blok

Dalam upaya untuk meningkatkan kendali AVR, pendekatan menggunakan logika *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan menjadi fokus utama penelitian. Pada bagian ini, kami akan membahas secara rinci perbandingan antara dua metode kendali yang inovatif, yaitu logika *fuzzy* dan JST, dalam konteks simulasi kontrol AVR generator *sinkron*. Diagram blok pada Gambar 3 akan memberikan gambaran visual tentang struktur keseluruhan sistem.



Gambar 3. Diagram blok simulasi kontrol AVR generator *sinkron*

Penjelasan dari diagram blok diatas adalah sebagai berikut:

1. *Set point* adalah penentuan nilai tegangan terminal generator, yang ditentukan sebesar 220V.
2. Nilai *error* (*e*) merupakan selisih antara tegangan referensi dengan *feedback* tegangan aktual dari terminal generator *sinkron* dan merupakan *input* untuk blok kontrol.
3. Pada blok sistem kontrol menggunakan dua metode yaitu logika *fuzzy* dan jaringan saraf tiruan yang digunakan sebagai pengendali.
4. *Control signal* (*CS*) merupakan *output* dari sistem kontrol yang ada lalu terhubung sebagai inputan *amplifier* untuk direpresentasikan dalam sebuah sistem orde satu sebagai faktor penguat dan konstanta waktu.
5. Blok *exciter* akan memerintahkan sistem eksitasi untuk menginjeksi *Volt Alternating Current* (*VAC*) ke *Volt Dirrect Current* (*VDC*) atau mengurangi arus *Dirrect Current* (*DC*) pada kumparan rotor generator sesuai dengan kebutuhan.
6. Pada Generator *sinkron*, rotor akan berputar oleh penggerak mula (*prime mover*) dan kemudian kutub-kutub pada rotor akan berputar, terjadinya energi listrik karena adanya proses induksi elektromagnetik sehingga timbul gaya gerak listrik pada kumparan stator.

B. Sistem Model AVR Serta Parameter *Transfer Function*  
 Pemodelan sistem AVR dan Generator *Sinkron* menggunakan *transfer function* sesuai dengan parameter pada Tabel 1. Pada penelitian ini model sistem AVR melakukan studi literatur sebagai referensi.

#### 1. Model *Amplifier*

Model *amplifier* digambarkan sebagai sistem orde pertama dengan sebuah faktor penguatan ( $K_a$ ) dan konstanta waktu ( $T_a$ ). Penetapan nilai  $K_a$  menggunakan nilai minimal yaitu 10 dan  $T_a$  menggunakan nilai maksimal yaitu 0.1 [6].

#### 2. Model *Exciter*

$K_e$  adalah konstanta penguatan *eksiter* dan  $T_e$  adalah konstanta waktu *eksiter*. Penetapan nilai  $K_e$  menggunakan nilai minimal yaitu 1 dan  $T_e$  menggunakan nilai minimal yaitu 0.4 [6].

#### 3. Model Generator *Sinkron*

Untuk model yang *linier* sebuah generator dapat pendekatan dengan sistem orde satu, yang memiliki faktor penguatan ( $K_g$ ) dan konstanta waktu ( $T_g$ ). Pada nilai konstanta waktu ini bergantung pada beban. Penetapan nilai  $K_g$  menggunakan nilai maksimal yaitu 1 dan  $T_g$  menggunakan nilai minimal yaitu 1 [6].

Tabel I  
 Parameter model AVR dan *transfer function*

Component	Transfer Function	Parameter Range
<i>Amplifier</i>	$TF_{amplifier} = \frac{K_a}{1 + T_a S}$	$10 \leq K_a \leq 40; 0.02 \geq T_a \leq 0.1$
<i>Exciter</i>	$TF_{exciter} = \frac{K_e}{1 + T_e S}$	$1 \leq K_e \leq 10; 0.4 \leq T_e \leq 1.0$
Generator <i>Sinkron</i>	$TF_{generator} = \frac{K_g}{1 + T_g S}$	$0.7 \leq K_g \leq 1.0; 1.0 \leq T_g \leq 2$

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Logika *Fuzzy*

Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah mamdani yang menggunakan metode *centroid* untuk defuzzifikasi. Kontrol logika fuzzy ini terdiri dari *multiple input* dan *single output* (MISO) yang berarti memiliki dua masukan dan satu keluaran. Nilai *error* tegangan dan laju perubahan *error* tegangan atau *delta error* adalah masukan dari kendali *fuzzy* yang berasal dari selisih tegangan terminal generator *sinkron* dengan tegangan referensi.

#### 1. Input Logika *Fuzzy*

Logika *fuzzy* menunjukkan fungsi keanggotaan dari *input* pertama dalam simulasi yang diberi nama *error*. Rentang pada *input error* ini diatur antara -220 hingga 220. Terdapat lima keanggotaan, dan masing-masing memiliki bentuk segitiga. Fungsi keanggotaan *error fuzzy* dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel II  
 Fungsi keanggotaan *input error fuzzy*

	Range	Name	Params	Type
<i>Error</i>	[-220 220]	<i>NB</i>	[-220 -220 -110]	<i>trimf</i>
		<i>NS</i>	[-220 -110 0]	
		<i>Z</i>	[-110 0 110]	
		<i>PS</i>	[0 110 220]	
		<i>PB</i>	[110 220 20]	

Logika *fuzzy* menunjukkan fungsi keanggotaan dari *input* kedua dalam simulasi yang diberi nama *delta error*. Rentang pada *input delta error* ini diatur dalam rentang nilai -220 hingga 220. Terdapat lima keanggotaan, dan masing-masing memiliki bentuk segitiga. Fungsi keanggotaan *input delta error fuzzy* dapat diamati pada Tabel 3.

Tabel III  
Fungsi keanggotaan *input delta error fuzzy*

	Range	Name	Params	Type
<i>deltaerror</i>	[-220 220]	<i>NBd</i>	[-220 -220 -110]	<i>trimf</i>
		<i>NSd</i>	[-220 -110 0]	
		<i>Zd</i>	[-110 0 110]	
		<i>PSd</i>	[0 110 220]	
		<i>PBd</i>	[110 220 220]	

2. Output Logika Fuzzy

Logika fuzzy menunjukkan fungsi keanggotaan dari *output* dalam simulasi yang diberi nama *output*. Jangkauan pada *output* ini diatur dalam rentang nilai 17 hingga 27. Sebagaimana dua *input* sebelumnya, *output* ini juga memiliki lima keanggotaan, dan masing-masing memiliki bentuk segitiga. Fungsi keanggotaan *output fuzzy* dapat diperhatikan pada Tabel 4.

Tabel IV  
Fungsi keanggotaan *output fuzzy*

	Range	Name	Params	Type
<i>Output</i>	[17 27]	<i>NB</i>	[17 17 19.5]	<i>trimf</i>
		<i>NS</i>	[17 19.5 22]	
		<i>Z</i>	[19.5 22 24.5]	
		<i>PS</i>	[22 25.5 27]	
		<i>PB</i>	[24.5 27 27]	

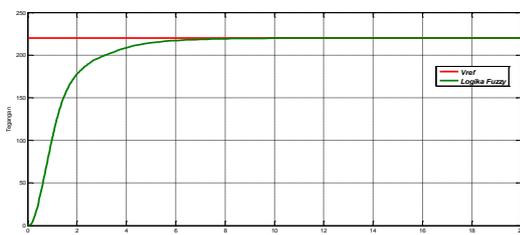
3. Rules Logika Fuzzy

*Input* dan *output* logika fuzzy ini memiliki 5 fungsi keanggotaan yang disimbolkan sebagai NB (*Negative Big*), NS (*Negative Small*), Z (*Zero*), PS (*Positive Small*), PB (*Positive Big*). Sedangkan untuk jumlah aturan pada tabel dapat ditentukan dari hasil perkalian jumlah keanggotaan pada kedua input yang dimana masing-masing memiliki 5 keanggotaan sehingga didapatkan hasil  $5 \times 5 = 25$  aturan, aturan tersebut dapat diamati pada Tabel 5.

Tabel V  
Aturan fuzzy

<i>e/Δe</i>	NB	NS	Z	PS	PB
<b>NBd</b>	NB	NB	NB	NS	Z
<b>NSd</b>	NB	NB	NS	Z	PS
<b>Zd</b>	NB	NS	Z	PS	PB
<b>PSd</b>	NS	Z	PS	PB	PB
<b>PBd</b>	Z	PS	PB	PB	PB

4. Pengujian Kendali Logika Fuzzy



Gambar 4. Respon sistem AVR berbasis kendali logika fuzzy

Pada Gambar 4 diatas, terlihat hasil simulasi AVR yang telah dijalankan berbasis kendali logika fuzzy dengan tegangan referensi 220V. Dari simulasi ini, diperoleh nilai *respons transient* dan *error steady state* yang dicantumkan pada Tabel 6 berikut.

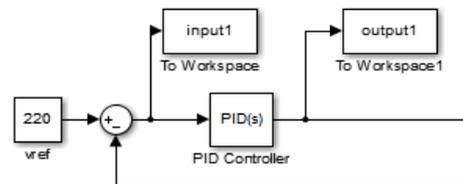
Tabel VI  
Respon sistem AVR berbasis kendali logika Fuzzy

Respon Sistem	Logika fuzzy
<i>Delay Time</i>	1.058s
<i>Rise Time</i>	2.576s
<i>Peak Time</i>	20s
<i>Settling Time</i>	5.354s
<i>Max Overshoot</i>	0%
<i>Steady State Error</i>	0%
<i>Steady State</i>	220v

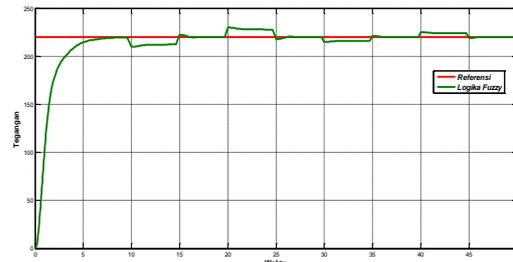
B. Jaringan Saraf Tiruan

1. Pengambilan Data *Input* dan *Output*

Dalam merancang kendali JST, diperlukan data *input* dan target untuk melakukan pelatihan jaringan saraf tiruan. Data tersebut diperoleh dari *input* dan *output* kontrol PID dengan menggunakan *blok to workspace*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Pengambilan data PID to Workspace



Gambar 6. Respon sistem AVR berbasis kendali JST

Pada Gambar 6 diatas, terlihat hasil simulasi AVR yang telah dijalankan berbasis kendali jaringan saraf tiruan dengan tegangan referensi 220 Volt. Dari simulasi ini, diperoleh nilai *respons transient* dan *error steady state* yang tercantum pada Tabel 7 berikut.

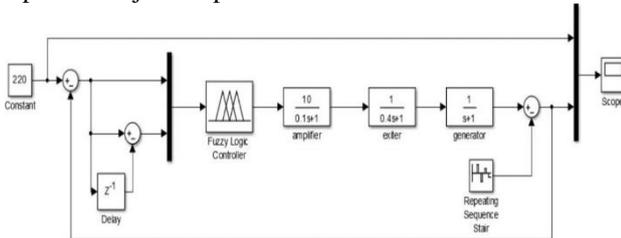
Tabel VII  
Respon sistem AVR berbasis kendali JST

Respon Sistem	JST
<i>Delay Time</i>	1.031s
<i>Rise Time</i>	1.518s
<i>Peak Time</i>	3.128s
<i>Settling Time</i>	2.328s
<i>Max Overshoot</i>	1.345%
<i>Steady State Error</i>	0.045 %
<i>Steady State</i>	219.9V

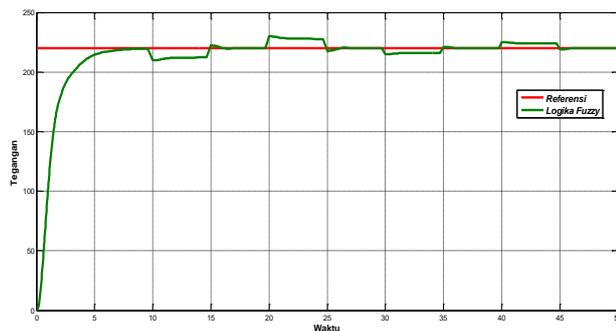
C. Pengujian Kendali Logika Fuzzy dan Jaringan Saraf Tiruan Berbeban

1. Logika Fuzzy

Pengujian ini dilakukan pada tegangan referensi 220V dengan beban sebesar 10, -10, 5 dan -5 yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon sistem yang dihasilkan. Beban yang diberikan berupa step yang diberikan pada  $t = 10s$  untuk beban 10,  $t = 20s$  untuk beban -10,  $t = 30s$  untuk beban 5, dan  $t = 40s$  untuk beban -5 seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Sistem AVR berbasis logika fuzzy berbeban



Gambar 8. Respon Sistem AVR Berbasis Kendali Logika Fuzzy Berbeban

Dari hasil pengujian beban yang telah dilakukan pada Gambar 8 dengan kendali logika fuzzy menggunakan tegangan referensi 220 Volt, diperoleh nilai *error steady state* yang tercatat pada Tabel 8.

Tabel VIII  
Respon Sistem AVR Berbasis Kendali Logika Fuzzy Berbeban

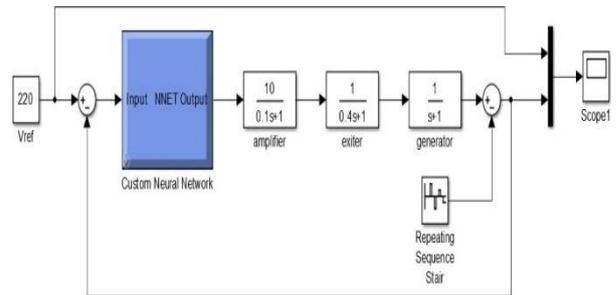
Time	Beban	Steady State	Error Steady State
10s	10	212.4	3.578%
20s	-10	227.6	3.339%
30s	5	216.2	1.757%
40s	-5	223.8	1.697%

Beban yang diberikan berupa *step repeating sequence stair*. Dapat di perhatikan pada Gambar 8 pengujian pada  $t = 10$  untuk beban 10 terjadi penurunan tegangan dari 220 volt menjadi 212.4 volt lalu pada  $t = 15$  terjadi pelepasan beban sehingga terdapat sedikit *overshoot* pada responnya untuk kembali ke tegangan referensi. Dapat di perhatikan juga adanya usaha perbaikan respon tegangan pada saat berbeban, namun nilai perbaikan yang terjadi cukup kecil sehingga tidak dapat kembali ke tegangan referensi.

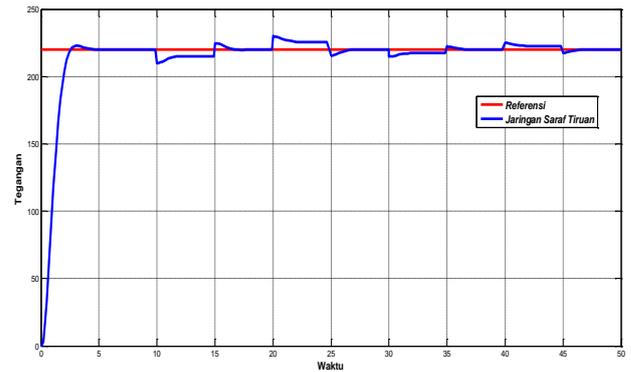
2. Jaringan Saraf Tiruan

Proses yang serupa juga dijalankan dalam pengujian berbeban ini, dengan pengaturan tegangan referensi sebesar 220V dan pemberian beban sebesar 10, -10, 5, dan -5. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi

karakteristik respon sistem yang dihasilkan. Pemberian beban dilakukan dalam bentuk step pada  $t = 10s$  untuk beban 10,  $t = 20s$  untuk beban -10,  $t = 30s$  untuk beban 5, dan  $t = 40s$  untuk beban -5, sebagaimana terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Sistem AVR berbasis JST berbeban



Gambar 10. Respon Sistem AVR Berbasis Kendali JST Berbeban

Dari hasil pengujian beban yang telah dilakukan pada Gambar 10 dengan kendali logika fuzzy menggunakan tegangan referensi 220 Volt, diperoleh nilai *error steady state* yang tercatat pada Tabel 9.

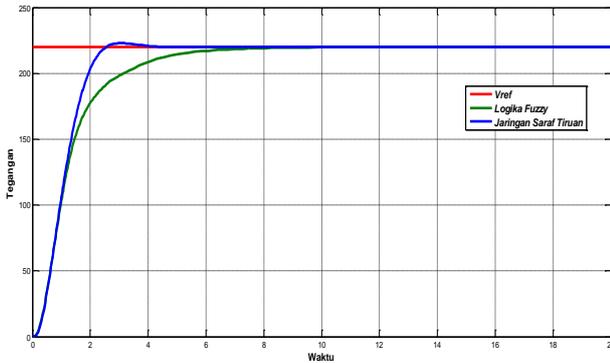
Tabel IX  
Respon Sistem AVR Berbasis Kendali JST Berbeban

Time	Beban	Steady State	Error Steady State
10s	10	214.8	2.420%
20s	-10	225.6	2.482%
30s	5	217.3	1.242%
40s	-5	222.6	1.168%

Hal yang sama juga dilakukan dalam pengujian berbeban ini yaitu berupa *step repeating sequence stair*. Dapat di perhatikan pada Gambar 10. hasil pengujian pada  $t = 10s$  untuk beban 10 terjadi penurunan tegangan dari 220 Volt menjadi 214.8 Volt lalu pada  $t = 15s$  terjadi pelepasan beban sehingga terdapat *overshoot* yang sedikit lebih besar daripada kendali logika fuzzy. Dapat di perhatikan juga adanya usaha perbaikan respon tegangan yang sedikit lebih baik daripada kendali logika fuzzy pada saat berbeban.

D. Perbandingan Respon Logika Fuzzy dan Jaringan Saraf Tiruan

Perbandingan ini dilakukan pada tegangan referensi 220V dengan membandingkan karakteristik respon sistem AVR yang berbasis kendali logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbandingan Sistem AVR Berbasis Kendali Logika Fuzzy Dan JST pada saat berbeban

Tabel X  
Perbandingan Respon AVR Berbasis Kendali Logika Fuzzy Dan JST

Respon Sistem	Logika Fuzzy	Jaringan Saraf Tiruan
Delay Time	1.058s	1.031s
Rise Time	2.576s	1.518s
Peak Time	20s	3.128s
Settling Time	5.354s	2.328s
Max Overshoot	0%	1.345%
Steady State Error	0%	0.045 %
Steady State	220V	219.9v

Respon yang dihasilkan pada kedua kendali memiliki selisih *steady state* yang kecil. Logika fuzzy memiliki nilai *steady state* sebesar 220 Volt, berbeda dengan jaringan saraf tiruan yang menghasilkan nilai *steady state* sebesar 219.9 volt. Dapat dilihat juga pada Tabel 10 bahwa pada respon *transient* dari kedua kendali juga terdapat selisih yang dimana logika fuzzy memiliki respon yang cukup lambat dengan *max overshoot* sebesar 0%, berbeda dengan kendali jaringan saraf tiruan memiliki respon yang lebih cepat namun memiliki *max overshoot* yang lebih tinggi sebesar 1.345%.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa pada sistem AVR menggunakan kendali logika fuzzy dan jaringan saraf tiruan didapat bahwa respon *transient* dan respon *steady state* yaitu, Logika fuzzy dengan respon *delay Time* (td) 1.058s, *rise Time* (tr) 2.576s, *peak Time* (tp) 20s, *settling Time* (ts) 5.354s, *maximum overshoot* (Mp) 0%, *error steady state* (ess) 0%. Jaringan saraf tiruan dengan respon *delay Time* (td) 1.031s, *rise Time* (tr) 1.518s, *peak Time* (tp) 3.128s, *settling Time* (ts) 2.3286s, *maximum overshoot* (Mp) 1.345%, *error steady state* (ess) 0.045%. Dari hasil respon yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa dalam hal ini respon kendali logika fuzzy lebih lambat tanpa memiliki *overshoot*, dibandingkan dengan respon jaringan saraf tiruan yang lebih cepat tetapi memiliki *overshoot*, sedangkan dalam memperbaiki tegangan terminal generator JST lebih baik dibandingkan logika fuzzy.

## REFERENSI

- [1] A. M. Prasetya, L. Sartika, dan A. Ma'ruf, "Penggunaan PID pada *Automatic Voltage Regulator* (AVR) Untuk Kestabilan Tegangan Terminal Generator Sinkron 3 Fasa", *Jurnal Elektronika Borneo* (JEB), Vol. 9 No. 2, pp. 55-59, 2023.
- [2] A. Emirwati, L. Sartika, dan A. M. Prasetya, Analisis Keandalan Sistem Trafo *Step Down* Menggunakan Metode Logika Fuzzy", *Jurnal Eltek*, Vol. 21, No. 2, pp. 68-75, 2023.
- [3] A. Rahmah, "Pelepasan Beban Akibat Gangguan Beban Lebih Pada PT. Dian Swastatika Sentosa Power Plant dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan", Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2022.
- [4] A. Nurdin, A. Azis, dan R. Rozal, "Peranan *Automatic Voltage Regulator* Sebagai Pengendali Tegangan Generator Sinkron", *Jurnal Ampere*, Vol. 3, No. 1, pp. 163-173, 2018.
- [5] S. Amalia, E. Saputra, dan E. Syukriansyah, "Pemodelan Sistem Pengontrolan Suhu Ruang Berbasis Logika Fuzzy Mamdani", *Jurnal Teknik Elektro Institut Teknologi Padang*, Vol. 10, No. 1, pp. 30-36, 2021.
- [6] Saadat, H. "Power System Analysis. Boston: McGraw-Hill", 1999.

# ANALISIS EKONOMI PENGGUNAAN PLTS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF HYDROFARM BERBASIS IoT

Steven Lumban Gaol<sup>1</sup>, Fitriani Said<sup>2</sup>, Abil Huda<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Universitas Borneo Tarakan, Tarakan, Kalimantan Utara, Indonesia

<sup>1</sup>stevenlumban11@gmail.com

<sup>2</sup>fitrianiubt22@gmail.com

<sup>3</sup>aby16666@gmail.com

**Abstract**—Hydrofarm is a modern farming technique by utilizing water. The pump motor controlled using IoT is used as a water supply so that the needs of the hydrofarm are met, but if the electrical equipment relies on electricity from state-owned electricity company (PLN), the bill will be expensive, therefore another source of electricity is required, namely Solar Power Plant (PLTS). The purpose of this research was to analyze the economic aspects of the PLTS system that was built. This type of research was quantitative research. This research was conducted from November 2023 to March 2024 and used primary data and secondary data analyzed with Microsoft Excel. The results of the research were to determine the cost and financial aspects. In the cost aspect, the initial cost was IDR 7.159.000, the life cycle cost for 10 years was IDR 9.897.061, producing 468.9kWh of energy with an electricity tariff of IDR 2.743 and internet costs for 10 years of IDR 12.383,28. In the financial aspect, the results revealed a positive NPV value of IDR 1.780.583.813 and an IRR value of 11%, with these results the project in this study is feasible / profitable.

**Keywords:** Hydrofarm, Solar Power Plant, Economic Aspects

**Intisari**—Hydrofarm merupakan teknik bercocok tanam yang modern dengan memanfaatkan air. Motor pompa yang dikontrol menggunakan IoT dimanfaatkan sebagai penyuplai air agar kebutuhan hydrofarm terpenuhi, namun peralatan listrik tersebut apabila mengandalkan listrik dari PLN maka tagihan akan mahal, oleh karena itu diperlukan sumber listrik lain yaitu PLTS. Tujuan penelitian ini agar dapat menganalisis aspek ekonomi dari sistem PLTS yang dibangun. Penelitian dikategorikan penelitian kuantitatif, mulai dikerjakan pada bulan November 2023 hingga Maret 2024, dimana data primer dan juga data sekunder dianalisis dengan aplikasi microsoft excel. Hasil dari penelitian yaitu mengetahui aspek biaya dan aspek finansial. Pada aspek biaya seperti biaya awal (*Initial Cost*) sebesar Rp 7.159.000, biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) selama 10 tahun sebesar Rp 9.897.061, energi yang dihasilkan sebesar 468,9kWh dengan tarif listrik sebesar Rp 2743 dan biaya internet selama 10 tahun sebesar Rp 12.383,28. Pada aspek finansial mendapatkan nilai NPV positif sebesar Rp 1.780.583,813 dan nilai IRR sebesar 11% dengan hasil tersebut proyek pada penelitian ini dapat dikatakan layak/menguntungkan.

**Kata Kunci ;** Hydrofarm, PLTS, Aspek Ekonomi

## I. PENDAHULUAN

Hydrofarm atau yang biasa disebut budidaya tanaman merupakan salah satu bidang pertanian yang modern dengan memanfaatkan air tanpa memakai tanah. Hal itu bermula karena adanya beberapa masyarakat yang hendak

mencoba bercocok tanam tetapi terkendala karena lahan, sehingga dengan membuat hydrofarm mereka dapat menjual ataupun menikmati hasil budidaya tanaman mereka yang kualitasnya tidak kalah bagusnya dari hasil budidaya yang menggunakan tanah. Selain itu waktu yang sangat sedikit untuk mengolah budidaya tanaman dikarenakan kesibukan untuk menyelesaikan tuntutan pekerjaan juga merupakan kendala yang sangat banyak didapatkan. Oleh sebab itu, hydrofarm sangat bisa diandalkan karena dapat dikontrol dari jarak jauh dengan menggunakan IoT (*Internet of Things*). Agar dapat mengontrol hydrofarm seperti nutrisi, ketinggian dan pH air maka membutuhkan alat-alat yang mendukung, tentunya alat-alat tersebut memakai energi listrik agar dapat bekerja. Hal ini juga menjadi perhatian yang sangat perlu dipertimbangkan, sebab apabila mengandalkan PLN sebagai penyuplai energi listrik utama maka akan membuat tagihan listrik yang sangat tinggi, sehingga diperlukan energi alternatif yang bisa dipakai untuk menghasilkan listrik bagi hydrofarm tersebut yaitu energi surya atau biasa disebut PLTS.

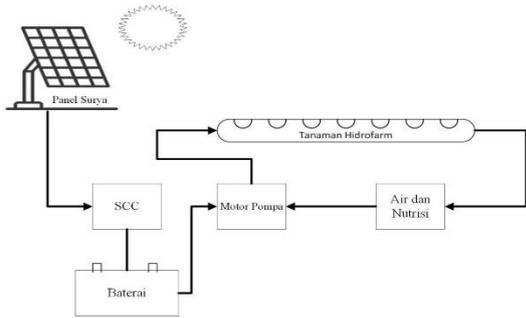
PLTS yaitu pembangkitan listrik yang diperoleh dari hasil konversi energi sinar matahari. Energi listrik dari sumber ini juga sangat dapat diandalkan sebagai sumber energi listrik bagi sistem hydrofarm. Sehingga dengan memanfaatkan PLTS sebagai suplai energi bagi sistem hydrofarm, maka tagihan listrik yang akan dikeluarkan juga menjadi lebih sedikit. Namun untuk membangun sistem PLTS tentunya membutuhkan biaya yang relatif besar dikarenakan komponen-komponen, jasa instalasi PLTS dan biaya lainnya. Untuk itu sangat perlu dilakukan perhitungan ekonomi pada sistem ini guna mengetahui secara detail pada aspek ekonominya. Latar belakang tersebut menimbulkan inisiatif penulis untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Ekonomis Penggunaan PLTS sebagai Energi Alternatif Hydrofarm Berbasis IoT”.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Hydrofarm

Hydrofarm merupakan teknik bercocok tanam yang sangat sederhana karena tidak menggunakan tanah melainkan memanfaatkan air sebagai media tanamnya. Air yang dicampur dengan nutrisi sesuai dengan tanaman yang ditanam dimana hasilnya tidak kalah bagus kualitasnya dibandingkan bercocok tanam seperti biasanya.

Hydrofarm memiliki banyak keunggulan salah satunya dapat memakai wilayah atau lahan yang tidak cukup luas sehingga masyarakat perkotaan dapat mengaplikasikan hydrofarm.



Gambar 1. Hydrofarm menggunakan energi PLTS

Keluaran PLTS merupakan tegangan berupa tegangan DC namun tegangan itu tidak dapat langsung digunakan motor karena tegangannya belum stabil, sehingga tegangan distabilkan terlebih dahulu kemudian disimpan pada baterai. Tegangan baterai akan digunakan motor pompa sehingga sistem dapat bekerja.

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu pembangkit energi baru terbarukan yang mengubah energi foton (energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik) dari surya menjadi energi listrik [2].



Gambar 2. Panel Surya

Prinsip kerja sel fotovoltaik yaitu radiasi cahaya matahari diubah pada panel surya yang terbuat dari bahan semikonduktor sehingga menimbulkan efek fotovoltaik. Efek fotovoltaik ini terjadi ketika energi foton mengenai semikonduktor, foton akan diserap oleh elektron kemudian akan berpindah dari tipe N ke tipe P sehingga meninggalkan hole pada pita valensinya lalu timbul arus listrik searah atau DC [7]. PLTS memanfaatkan foto sel untuk mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik. Energi listrik tersebut digunakan untuk mengisi baterai atau aki. Saat sinar matahari cukup banyak, foto sel mengisi baterai atau aki tersebut, namun pada malam hari energi listrik diambil dari baterai/aki untuk digunakan [16].

C. Aspek Ekonomi

Pada bagian ini akan mendetailkan tentang aspek ekonomi dimana aspek biaya mencakup biaya dan aspek finansial.

1. Aspek Biaya

a. Biaya Awal (Initial Cost)

Biaya awal adalah investasi yang dikeluarkan untuk membangun suatu sistem sampai siap operasional. [5].

b. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (Operational and Maintenance Cost)

Pada saat sistem siap digunakan maka akan membutuhkan Biaya operasional dan pemeliharaan biasanya sekitar 1-2% dari biaya investasi awal. Besar biaya operasi dan pemeliharaan per tahun untuk PLTS dapat dianalisis menggunakan [1]

$$M = 1\% \times \text{Total biaya investasi} \tag{1}$$

Biaya operasional dan pemeliharaan yang akan dikeluarkan dalam beberapa tahun ke depan (selama masa pakai sistem) dianalisis menggunakan

$$M_{pw} = M \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \tag{2}$$

Dengan :

$M_{pw}$  = Nilai saat ini dari biaya tahunan selama masa pakai sistem (Rp)

$M$  = Biaya tahunan untuk operasional dan pemeliharaan (Rp)

$i$  = Tingkat diskonto (%)

$n$  = Masa pakai sistem (tahun)

c. Biaya Penggantian Komponen (Replacement Cost)

Hal ini dilakukan ketika salah satu alat pendukung sistem tidak berfungsi dan harus diganti. Untuk menentukan nilai sekarang dari biaya penggantian komponen maka harus mengetahui faktor nilai sekarang atau Present Worth Factor (PWF) dapat dianalisis dengan [1]

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \tag{3}$$

$$R_{batt} = \frac{Y}{Y_b} - 1 \tag{4}$$

$$R_{pw} = B.PWF \tag{5}$$

Dengan :

$R_{batt}$  = Jumlah penggantian baterai

$Y$  = Masa pakai sistem (tahun)

$Y_b$  = Lifetime baterai (tahun)

$B$  = Biaya penggantian komponen (Rp)

$i$  = Tingkat diskonto (%)

$n$  = Masa pakai sistem (tahun)

$R_{pw}$  = Biaya saat ini untuk penggantian komponen (Rp)

$PWF$  = Present Worth Factor (%)

d. Biaya Siklus Hidup (Life Cycle Cost)

Biaya siklus hidup yaitu metode untuk menghitung total biaya pengeluaran suatu sistem dalam tempo pakainya. Biaya siklus hidup dapat dianalisis menggunakan. [5]

$$LCC = C + M_{pw} + R_{pw} \tag{6}$$

Dengan :  
 LCC = Biaya Siklus Hidup  
 C = Biaya Investasi Awal  
 $M_{pw}$  = Biaya saat ini untuk total biaya operasi dan pemeliharaan  
 $R_{pw}$  = Biaya saat ini untuk penggantian komponen

e. *Levelized Cost of Energy (LCOE)*  
 Jumlah biaya energi bergantung pada biaya siklus hidup, produksi kWh tahunan, serta faktor pemulihan modal dari PLTS dapat dianalisis menggunakan [10]

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \tag{7}$$

$$Yield\ energy = Daya\ Panel \times PSH \tag{8}$$

$$A_{kWh} = \frac{Yield\ energi \times 365}{1000} \tag{9}$$

Dengan :  
 CRF = *Capital Recovery Factor*  
 i = Tingkat diskonto (%)  
 n = Masa pakai sistem (tahun)  
 Yield energi = Energi keluaran PLTS (Wh)  
 PSH = *Peak Sun Hour* (1 PSH = 1kWh/m<sup>2</sup>)  
 $A_{kWh}$  = Produksi kWh/tahun  
 365 = Jumlah hari 1 tahun  
 1000 = mengubah dari W ke kW  
 Biaya produksi energi listrik PLTS dapat dianalisis menggunakan

$$LCOE = \frac{LCC \times CRF}{A_{kWh}} \tag{10}$$

Dengan :  
 LCOE = *Levelized Cost of Energy*  
 LCC = *Life Cycle Cost*  
 CRF = *Capital Recovery Factor*

2. Aspek Finansial  
 Dua metode yang sering digunakan untuk mengevaluasi arus kas dan investasi adalah Net Present Value (NPV) dan Internal Rate of Return (IRR). [6].

a. *Metode Net Present Value (NPV)*  
*Net Present value* yaitu cara yang digunakan untuk mengetahui nilai bersih (*netto*) pada waktu sekarang. Dapat dianalisis menggunakan

$$NPV = \sum_i^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - C \tag{11}$$

Dengan :  
 NPV = *Net Present Value* (Rp)  
 $NCF_t$  = *Net Cash Flow* tahun ke-1 sampai ke-n  
 C = Biaya awal  
 t = Periode waktu (tahun)  
 n = Umur investasi (tahun)  
 i = Tingkat diskonto (%)

Untuk menilai apakah suatu investasi sistem ekonomis atau tidak, dalam metode NPV diperlukan suatu indikator.  
 Jika :

NPV > 0 (positif), maka investasi dianggap menguntungkan.  
 NPV < 0 (negatif), maka investasi dianggap tidak menguntungkan.  
 NPV = 0, maka investasi dianggap seimbang antara keuntungan dan kerugian.

b. *Metode Internal Rate of Return*  
*Internal Rate of Return* yaitu metode yang digunakan untuk mencari tingkat pengembalian di mana NPV sama dengan nol.. Dapat dianalisis menggunakan

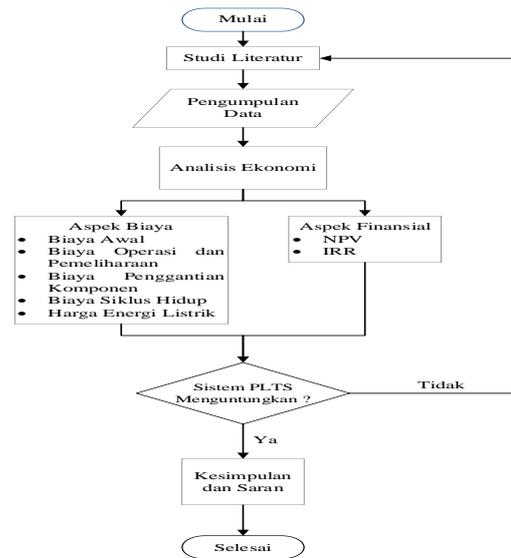
$$IRR = i_1 + \left\{ \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) (i_2 - i_1) \right\} \tag{12}$$

Dengan :  
 IRR = *Internal Rate of Return* (%)  
 $NPV_1$  = *Net Present Value* dengan tingkat bunga rendah (Rp)  
 $NPV_2$  = *Net Present Value* dengan tingkat bunga tinggi (Rp)  
 $i_1$  = tingkat bunga pertama (%)  
 $i_2$  = tingkat bunga kedua (%)

Untuk menilai apakah suatu sistem ekonomis atau tidak, dalam metode IRR diperlukan suatu indikator.  
 Jika :  
 IRR > suku bunga bank, artinya investasi akan menguntungkan  
 IRR < suku bunga bank, artinya investasi tidak menguntungkan

### III. METODE PENELITIAN

#### A. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir

B. *Metode Penelitian*  
 Metode penelitian yaitu metode kuantitatif. Penelitian kuantitatif yaitu metode penelitian yang dilakukan secara terencana, sistematis, dan terstruktur dengan sangat rinci, dan menghasilkan data berupa angka. Pada penelitian kuantitatif ini data yang digunakan merupakan biaya yang digunakan untuk membangun PLTS guna menyuplai

energi listrik untuk alat-alat elektronik pendukung *hydrofarm*, dan juga memperhitungkan aspek ekonomis seperti NPV dan IRR sehingga diketahui kelayakan investasi penelitian ini.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Aspek Biaya

###### 1. Biaya Awal (*Initial Cost*)

Membangun sistem PLTS membutuhkan biaya awal, sistem PLTS yang dibangun terdiri dari beberapa komponen yang dimana semua komponen tersebut dapat dilihat lebih detail beserta dengan harganya pada Tabel I.

###### 2. Biaya Operasional dan Pemeliharaan

Biaya yang dikeluarkan biasanya sekitar 1-2% dari biaya awal.

$$\begin{aligned} M &= 1\% \times \text{Total biaya investasi} \\ &= 1\% \times \text{Rp } 7.159.000 \\ &= \text{Rp } 71.590/\text{tahun} \end{aligned}$$

Sedangkan nilai saat ini dari biaya operasional dan pemeliharaan tahunan sebagai berikut

$$\begin{aligned} \text{Mpw} &= M \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \\ &= \text{Rp } 71.590 \frac{(1+0,06)^{10} - 1}{0,06(1+0,06)^{10}} \\ &= \text{Rp } 565.561 \end{aligned}$$

###### 3. Biaya Penggantian Komponen (*Replacement Cost*)

Pada sistem PLTS komponen yang biasanya diganti adalah baterai/aki karena *lifetime*. Biaya penggantian komponen dapat dianalisis menggunakan persamaan berikut

$$\text{Rbatt} = \frac{Y}{Yb} - 1 = \frac{10}{5} - 1 = 1$$

$$B = 1 \times \text{Rp } 3.950.000 = \text{Rp } 3.950.000$$

$$\begin{aligned} \text{RPW} &= B \times \text{PWF} \\ &= \text{Rp } 3.950.000 \times 0,55 \\ &= \text{Rp } 2.172.500 \end{aligned}$$

###### 4. Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya ini dapat dianalisis yaitu menjumlahkan keseluruhan biaya yang dikeluarkan untuk membangun sistem selama penelitian.

$$\begin{aligned} \text{LCC} &= C + \text{Mpw} + \text{Rpw} \\ &= \text{Rp } 7.159.000 + \text{Rp } 565.561 + \text{Rp } 2.172.500 \\ &= \text{Rp } 9.897.061 \end{aligned}$$

###### 5. Biaya Energi (*Levelized Cost of Energi*)

Analisis ini digunakan untuk mengetahui tarif listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS yang dibangun. Biaya energi dapat dianalisis menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{LCOE} &= \frac{\text{LCC} \times \text{CRF}}{\text{AkwH}} \\ &= \frac{9.897.061 \times 0,13}{468,9} \end{aligned}$$

$$= \text{Rp } 2743/\text{kWh}$$

###### 6. Biaya Internet sistem PLTS berbasis IoT

Sistem PLTS pada penelitian ini berbasis *Internet of Thing* (IoT). IoT pada sistem PLTS ini digunakan untuk mengetahui keluaran PLTS seperti tegangan, arus, dan daya tanpa harus melakukan pengukuran. Informasi terkait keluaran PLTS dapat dilihat pada aplikasi *Blynk*. Berdasarkan tarif internet yang dikeluarkan selama PLTS beroperasi dapat dianalisis seperti berikut [9]

$$\begin{aligned} 1024\text{Mb} &= \text{Rp } 4401,446 \\ 4,9\text{Mb} &= \text{Rp } 21,06 \\ 4,9\text{Mb} \times 120 &= 588\text{Mb} \\ 588\text{Mb} \times \text{Rp } 21,06 &= \text{Rp } 12.383,28 \end{aligned}$$

##### B. Aspek Finansial

###### 1. Metode *Net Present Value* (NPV)

*Net Present Value* merupakan variabel yang menjadi gambaran pendapatan yang dicapai diwaktu yang akan datang dengan bunga telah dibayar diawal. Metode NPV menggunakan arus kas bersih, faktor diskonto, dan nilai sekarang dari arus kas bersih sebagai dasarnya. Benefit diperoleh dari hasil perkalian antara produksi kWh tahunan sistem PLTS dengan biaya energi, sedangkan pengeluaran diperoleh dari biaya operasional dan pemeliharaan. *Net cash flow* diperoleh dari hasil pengurangan benefit dengan pengeluaran, sedangkan (PVNCF) diperoleh dari hasil perkalian NCF dengan faktor diskonto. Hasil analisis tersebut dapat dilihat pada Tabel II.

$$\begin{aligned} \text{NPV} &= \sum_{i=1}^n \frac{\text{NCF}_t}{(1+i)^t} - C \\ &= \text{PVNCF} - C \\ &= 8.939.583,813 - 7.159.000 \\ &= 1.780.583,813 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis diatas nilai NPV yaitu sebesar Rp 1.780.583,813 nilai tersebut berupa positif yang artinya pembangunan sistem PLTS ini menguntungkan.

###### 2. Metode *Internal Rate of Return* (IRR)

Metode Internal Rate of Return digunakan untuk mencari tingkat pengembalian di mana NPV sama dengan nol. NPV positif dan NPV negatif dapat dilihat pada Tabel III

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= i_1 + \left\{ \left( \frac{\text{NPV}_1}{\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2} \right) (i_2 - i_1) \right\} \\ \text{IRR} &= 0,06 + \left\{ \left( \frac{1.780.583,813}{1.780.583,813 + 5921} \right) (0,11 - 0,06) \right\} \\ &= 0,06 + \left\{ \left( \frac{1.780.583,813}{1.780.583,813 + 5921} \right) (0,05) \right\} \\ &= 0,06 + (0,99) (0,05) \\ &= 0,1095 \times 100 = 10,95\% = 11\% \end{aligned}$$

Dari hasil analisis tersebut nilai *Internal Rate of Return* sebesar 11%. sedangkan suku bunga bank adalah 6%, sehingga dapat diambil keputusan bahwa sistem PLTS yang dibangun pada penelitian ini menguntungkan karena nilai IRR > suku bunga bank.

Tabel I  
Biaya awal PLTS

Nama Komponen	Jumlah	Harga	Total Harga
Panel Surya SY-100M	1	Rp. 1.305.000	Rp. 1.305.000
Rak Sel Sueya	1	Rp. 186.000	Rp. 186.000
Aki	1	Rp. 3.950.000	Rp. 3.950.000
MCB C23N	2	Rp. 44.000	Rp. 88.000
Kabel Jumper	1	Rp. 194.000	Rp. 194.000
Automatic Transfer Switch (ATS) AC	1	Rp. 374.000	Rp. 374.000
Inverter PSW 500W	1	Rp. 499.000	Rp. 499.000
Sensor PZEM-004T	1	Rp. 152.000	Rp. 152.000
Solar Charge Controller	1	Rp.116.000	Rp.116.000
MPPT	1	Rp. 121.000	Rp. 121.000
Module ESP 32	1	Rp. 64.000	Rp. 64.000
Terminal	2	Rp. 55.000	Rp. 110.000
<b>Total Biaya</b>			<b>Rp. 7.159.000</b>

Tabel II  
Hasil analisis benefit, O&M, NCF, DF, dan PVNCF

Tahun	Investasi	Benefit	O & M	NCF	<i>i</i> 6%		<i>i</i> 11%	
					DF	PVNCF	DF	PVNCF
	<b>7159000</b>							
1		1286193	71590	1214603	0,943396226	1145851,887	0,900900901	1094236,937
2		1286193	71590	1214603	0,88999644	1080992,346	0,811622433	985799,0423
3		1286193	71590	1214603	0,839619283	1019804,1	0,731191381	888107,2453
4		1286193	71590	1214603	0,792093663	962079,3396	0,658730974	800096,6174
5		1286193	71590	1214603	0,747258173	907622,0185	0,593451328	720807,7634
6		1286193	71590	1214603	0,70496054	856247,1873	0,534640836	649376,3634
7		1286193	71590	1214603	0,665057114	807780,3654	0,481658411	585023,7508
8		1286193	71590	1214603	0,627412371	762056,9485	0,433926496	527048,4242
9		1286193	71590	1214603	0,591898464	718921,6495	0,390924771	474818,4002
10		1286193	71590	1214603	0,558394777	678227,9712	0,352184479	427764,3245
<b>Total</b>						<b>8939583,813</b>		<b>7153078,868</b>

Tabel III  
Data NPV positif dan NPV negatif

No	Nama	Tingkat diskon	NPV
1	Nilai NPV Positif	6%	1.780.583,813
2	Nilai NPV Negatif	11%	-5.921,131

## V. KESIMPULAN

1. Pada aspek biaya untuk sistem PLTS sebagai energi alternatif *hydrofarm* berbasis *Internet of Thing* (IoT), terdapat beberapa biaya yang dianalisis seperti biaya awal (*Initial Cost*) sebesar Rp 7.159.000, biaya operasi dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*)

dengan tujuan agar sistem PLTS terjaga keandalannya selama masa operasi dengan menghabiskan biaya sebesar Rp71.590/tahun dan nilai sekarang dari biaya operasi dan pemeliharaan sebesar Rp 565.561, biaya penggantian komponen yaitu penggantian baterai 1 kali sehingga mengeluarkan biaya sebesar Rp 2.172.500, selama sistem PLTS beroperasi

mengeleuarkan biaya siklus hidup sebesar Rp9.897.061, sistem PLTS dengan panel surya berkapasitas 100Wp yang diasumsikan beroperasi 10 tahun menghasilkan estimasi energi sebesar 468,9 kWh dengan tarif listrik sebesar Rp 2743/kWh, mengeluarkan biaya internet selama 10 tahun operasi sebesar Rp 12.383,28 dengan melakukan *hybrid* ke PLN maka menghemat biaya sebesar Rp 689.044,83.

2. Pada aspek finansial untuk sistem PLTS sebagai energi alternatif *hydrofarm* berbasis *Internet of Thing* (IoT), menggunakan 2 metode yaitu untuk mengetahui besar benefit yang akan diterima atau *Net Present Value* (NPV) yaitu sebesar Rp 1.780.583,813 dan besar tingkat pengembalian modal atau *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 11%, berdasarkan hasil tersebut maka penelitian ini dapat dikatakan layak/menguntungkan.

## REFERENSI

- [1] Akbar, M.A. (2022). Analisis Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terintegrasi Vertical Indoor farming. *Repository UIN SUSKA RIAU*, 23-25.
- [2] Arindya, R. (2021). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Kapalo Koto: Mitra Cendekia Media.
- [3] Denis, dkk. (2022). Analisis Teknik Serta Kelayakan Ekonomi Pada Perancangan Pembangkit Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid. *Jurnal Infotekmesin*, 85-86.
- [4] Kodoatie, R. (2005). *Analisis Ekonomi Teknik*. Yogyakarta: Andi.
- [5] Vernando, Y. (2021). Analisis Teknis dan Ekonomi Teknologi Semi Transparent Photovoltaic (STPV) Terintegrasi Greenhouse di Indonesia. *Repository UIN SUSKA RIAU*, 54-58.
- [6] Giatman, M. (2011). *EKONOMI TEKNIK*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- [7] Rudianto, dkk. (2023). *Dasar-Dasar Pemasangan Panel Surya*. Malang: Unisma Press.
- [8] Mahanani. (2021). Budidaya Sayuran dengan Sistem Hidroponik. *ResearchGate*, 1.
- [9] cable.co.uk. (2024, Februari 29). Retrieved from cable.co.uk Web site: <https://www.cable.co.uk/mobiles/worldwide-data-pricing/>
- [10] Erikson, Y. (2022). Studi kelayakan panel surya sebagai alternatif pembangkit listrik di kota Tarakan menggunakan helioscope. 91-109.
- [11] Lazou, & Papatouris. (2000). "The economics of PV stand alone residential household: A case study for various European and mediterranean locations", *Solar Energy Materials and solar cells*. 411-327.
- [12] Bank Indonesia. (2024, 1 17). Retrieved from Bank Indonesia Web Site : <https://www.bi.go.id/en/statistik/indikator/bi-rate.aspx>
- [13] Beale, A.(2024, 2 21). *Footprint Hero*. Retrieved from Footprint Hero Web Site: <http://footprinthero.com/peak-sun-hours-calculator>
- [14] PLN. (2024, 3 6). Retrieved from PLN Web Site: <https://web.pln.co.id/stakeholder/laporan-statistik>
- [15] Artiyasa, M. (2022). *PLTS di Indonesia*. Sukabumi: CV Jejak.
- [16] Marsudi, D. (2005). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.

# PERANCANGAN INSTALASI PENERANGAN PADA GEDUNG DPRD PROVINSI KALIMANTAN UTARA

Sugeng Riyanto<sup>1</sup>, Fransiscus P Situmorang<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara

<sup>1</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>2</sup>franssitumorang133@gmail.com

**Abstract**—Electrical installation is a very important part in the construction of multi-storey buildings to protect the safety of people in the surrounding area so that they are safe from electric shock. Therefore, a planner must fully understand the regulations that apply to every electrical installation, especially lighting installations. To find out the general requirements for electrical installations in order to design a safe and good circuit, you can be guided by the 2011 General Electrical Installation Requirements (PUIL) standard. The North Kalimantan Province DPRD building is a multi-storey building which is under construction. To provide comfort to members of the People's Representative Council and staff, the building requires a good lighting installation design system in accordance with the 2011 General Electrical Installation Requirements (PUIL) standards. From the results of research on the North Kalimantan Province DPRD building, calculation results showed that the total power obtained in the building was 394,060 Watts, with an MCCB of 901 Ampere, with a power on the 1st floor of 166,896 Watts, on the 2nd floor of 224,172, and on the 3rd floor of 2992 watts. For voltage drop calculations, the results obtained are in accordance with the standards set by PUIL  $\leq 4\%$ .

**Keywords**—Electrical Installation, Multi-storey building, PUIL 2011.

**Intisari**—Instalasi listrik merupakan salah satu bagian yang sangat penting dalam pembangunan gedung bertingkat untuk melindungi keselamatan manusia yang berada di daerah sekitar sehingga aman dari sengatan listrik.. Maka dari itu, seorang perencana haruslah memahami betul peraturan-peraturan yang berlaku untuk setiap pemasangan instalasi listrik khususnya pada instalasi penerangan. Untuk mengetahui persyaratan umum instalasi listrik agar dapat merancang suatu rangkaian yang aman dan baik, dapat berpedoman pada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011. Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara merupakan gedung bertingkat yang dalam tahap pembangunan. Untuk menunjukkan kenyamanan pada anggota Dewan Perwakilan Rakyat beserta staf, gedung tersebut memerlukan sistem perancangan instalasi penerangan yang baik sesuai dengan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011. Dari hasil penelitian pada gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara diperoleh hasil perhitungan, total daya yang didapatkan pada gedung sebesar 394060 Watt, dengan pengaman MCCB 901 Ampere, dengan daya lantai 1 sebesar 166896 Watt, lantai 2 sebesar 224172, dan lantai 3 sebesar 2992 watt. Untuk perhitungan jatuh tegangan hasil yang didapatkan sesuai dengan standar yang ditetapkan PUIL  $\leq 4\%$ .

**Kata Kunci**—Instalasi Listrik, Gedung bertingkat, PUIL 2011.

## I. PENDAHULUAN

Kalimantan Utara adalah sebuah provinsi di Indonesia yang terletak di bagian utara Pulau Kalimantan. Kalimantan Utara resmi disahkan menjadi provinsi dalam rapat paripurna DPR pada tanggal 25 oktober 2012 berdasarkan Undang-undang Nomor 20 Tahun 2012. Pembangunan di Kalimantan Utara sangatlah pesat baik itu pembangunan infrastruktur yang meliputi pembangunan gedung pemerintahan, dan pembangunan gedung instansi lainnya. Adapun dari pembangunan tersebut tidaklah terlepas dari yang namanya perancangan instalasi listrik yang berstandart SNI ataupun Standart PUIL 2011.

Maka dari itu, seorang perencana haruslah memahami betul peraturan-peraturan yang berlaku untuk setiap pemasangan instalasi listrik khususnya pada instalasi penerangan. Untuk mengetahui persyaratan umum instalasi listrik agar dapat merancang suatu rangkaian yang aman dan baik, dapat berpedoman pada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011.

Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara merupakan gedung bertingkat yang dalam tahap pembangunan. Untuk menunjukkan kenyamanan pada anggota Dewan Perwakilan Rakyat beserta staf, gedung tersebut memerlukan sistem perancangan instalasi penerangan yang baik sesuai dengan standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011. Maka dalam tugas akhir ini penulis mengambil judul “Perancangan Instalasi Penerangan pada Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara”.

## II. KAJIAN PUSTAKA

### A. Tinjauan pustaka

Tinjauan pustaka berisikan tentang jurnal yang digunakan penulis sebagai referensi maupun acuan dalam menyusun penelitian perencanaan instalasi penerangan Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara.

(Handayani, Toto, & Robert, 2021) melakukan penelitian tentang Perancangan Ulang Instalasi Listrik Penerangan Laboratorium Mesin SMK 2 Perkasa. Penelitian ini untuk menghasilkan perancangan instalasi sesuai dengan SNI-0225-PUIL 2011, SNI 6197:2011 tentang konservasi energi sistem pencahayaan dan SNI 03-6575-2001 tentang tatacara perancangan sistem pencahayaan buatan pada bangunan gedung. Dihilangkan total daya keseluruhan sebesar 36010 VA, MCB yang digunakan sebesar 25 A, penghantar berukuran 2.5 mm<sup>2</sup> dengan KHA 26 A.

(Samuel J, Hans, & Maikel, 2015) Desain Instalasi Penerangan Pada Bangunan Multi Fungsi. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain instalasi yang baik, estetika pencahayaan yang baik, penggunaan standarisasi,

dan penghitungan biaya pembuatan instalasi pada ruko, kamar hotel, dan gedung *convention*. Diharapkan lampu yang digunakan lampu TL dan lampu *Downlight* dengan jumlah kebutuhan lampu dan biaya yang digunakan, ruko : menggunakan 2700 lumen, dengan jumlah lampu yang digunakan 14 lampu, dengan biaya instalasi Rp.2.705.000. Hotel: menggunakan 1300 lumen, dengan jumlah 3 lampu dan biaya instalasi ruko sebesar Rp. 1.637.000. *Convention*: menggunakan 6000 lumen, dengan jumlah lampu yang digunakan 269 lampu dan biaya instalasi sebesar Rp.167.183.000.

(Aprizulkifli & Sugeng, 2021) Perancangan Instalasi Penerangan Pada Gedung Laboratorium dan Perkuliahan Terpadu Universitas Borneo Tarakan. penelitian ini menghasilkan total daya sekitar 31,048 KW dengan kapasitas MCCB pada panel utama 150 A. Pada gedung ini dibagi menjadi 3 Lantai (1, 2 dan Top Floor). Pada setiap kelompoknya memiliki daya masing-masing (18.400, 12.328 dan 320 Watt) dan arus nominal masing-masing kelompok adalah (35, 35, dan 2 Ampere). Susut tegangan yang dihasilkan adalah 0,4%.

## B. Dasar Teori

### 1. Instalasi Penerangan

Instalasi penerangan merupakan suatu hal yang sangat mendasar dari suatu bangunan tempat tinggal maupun bangunan lainnya, agar bangunan tersebut dapat menjadi bangunan yang memiliki fungsi seperti yang kita inginkan. pemasangan instalasi peneranganpun juga harus diperhatikan agar dalam penggunaannya nanti tidak membahayakan penggunaannya. Oleh karena itu pemasangan instalasi penerangan harus benar – benar diperhatikan dan harus sesuai dengan standar yang ada. Di Indonesia sendiri untuk perancangan instalasi penerangan/listrik sudah diatur dalam Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2011. PUIL 2011 memuat ketentuan-ketentuan pemasangan instalasi listrik serta pemilihan peralatan dan perlengkapan instalasi listrik tegangan rendah. Dengan pemasangan instalasi yang mengikuti ketentuan PUIL diharapkan instalasi listrik akan lebih handal serta efisiensinya meningkat dengan berkurangnya kerugian arus bocor, sehingga energi listrik dapat optimal pemanfaatannya.

### 2. Persyaratan Umum Instalasi Listrik

Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) dan Standar Nasional Indonesia 0225:2011/Amd1:2013 Mengenai Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011) Amandemen 1 sebagai standar wajib. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) adalah dokumen SNI yang digunakan sebagai standar acuan dalam pemasangan instalasi tenaga listrik tegangan rendah untuk rumah tangga, gedung perkantoran, gedung publik dan bangunan lainnya. PUIL 2011 merupakan revisi dari PUIL 2000 yang selama ini digunakan oleh instalatur sebagai standar wajib dalam pemasangan instalasi listrik, serta digunakan oleh lembaga inspeksi teknik tegangan rendah dalam pemeriksaan dan pengujian instalasi listrik sebelum diterbitkan Sertifikat Laik Operasi (SLO). PUIL 2011 memuat ketentuan-ketentuan pemasangan instalasi listrik serta pemilihan peralatan dan perlengkapan instalasi listrik tegangan rendah. Dalam PUIL 2011 juga diperkenalkan penggunaan peralatan dan perlengkapan instalasi dengan

teknologi yang lebih maju yang bertujuan meningkatkan keamanan instalasi.

### 3. Peralatan Instalasi Listrik

Di dalam perancangan instalasi listrik terdapat beberapa peralatan instalasi listrik yang digunakan yaitu ((Aprizulkifli & Sugeng, 2021):

benda isolasi, benda bantu, pipa instalasi, saklar, stop kontak, fitting lampu.

### 4. Indeks Ruang atau Indeks Bentuk

Indeks ruang atau indeks bentuk  $k$  menjelaskan perbandingan antara ukuran-ukuran utama suatu ruangan berbentuk bujur sangkar:

$$k = \frac{p \times l}{h \times (p+l)} \quad (1)$$

$$\eta = \eta_1 + \frac{k - k_1}{k_2 - k_1} \times (\eta_2 - \eta_1) \quad (2)$$

dengan:

$k$  = Indeks Ruang

$k_{1,2}$  = Nilai Pada tabel Efisiensi Penerangan kondisi baru

$\eta$  = Faktor Penggunaan Ruang

$\eta_{1,2}$  = Nilai Pada tabel Efisiensi Penerangan kondisi baru

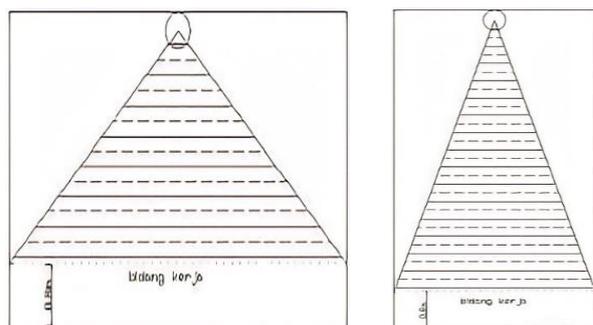
$p$  = Panjang Ruang (m)

$l$  = Lebar Ruang (m)

$h$  = Tinggi Sumber Cahaya di Atas Bidang Kerja (m)

### 5. Intensitas Penerangan

Intensitas penerangan adalah kuat cahaya (flux cahaya) yang jatuh pada bidang kerja, dengan satuan lux. Bidang kerja diambil 80 cm dari atas lantai. Yang dimaksud dengan bidang kerja adalah sebuah meja atau bangku kerja, atau bidang horozontal khayalan 80 cm dari atas lantai. Intensitas penerangan yang diperlukan ditentukan oleh sifat pekerjaan yang harus dilakukan. Gambar dibawah ini menunjukkan intensitas penerangan untuk ruang dan jenis pekerjaan.



Gambar 1. Pembagian Fluks Cahaya

Sumber : (Harten.P.Van & Setiawan.E, 1991, h. 38)

Untuk menghitung jumlah titik lampu pada ruangan, sebelumnya harus ditentukan terlebih dahulu data-data pada ruangan, antara lain:

1. Tinggi langit-langit ( $t$ )
  2. Tinggi lampu terhadap bidang kerja ( $h$ )
  3. Tinggi bidang kerja kurang lebih 0.8 meter
- Sehingga dapat persamaan:

$$H = t - 0,8 \quad (3)$$

Tabel I  
Intensitas Penerangan yang Diterbitkan Philips

No	Sifat Penerangan	Penerangan Sangat Baik	Penerangan Baik
1	Kantor		
	Ruang gambar	2000 lux	1000 lux
	Ruang kantor (pekerjaan biasa)	1000 lux	500 lux
	Ruang yang jarang digunakan (arsip dan ruang tunggu)	250 lux	150 lux
2	Ruang sekolah		
	Ruang kelas	500 lux	250 lux
	Ruang gambar	1000 lux	500 lux
	Ruang administrasi	1000 lux	500 lux
3	Industri		
	Pekerjaan sangat halus (pembuatan jam tangan)	5000 lux	2500 lux
	Pekerjaan halus (bubut halus)	2000 lux	1000 lux
	Pekerjaan biasa (pemasangan biasa)	1000 lux	500 lux
	Pekerjaan kasar (menempa dan menggiling)	500 lux	250 lux
4	Toko		
	Ruang jual dan pamer		
	Toko-toko besar	1000 lux	500 lux
	Toko-toko lain	500 lux	250 lux
	Etalase		
	Toko-toko besar	2000 lux	1000 lux
	Toko-toko lain	1000 lux	500 lux
	Gudang	500 lux	250 lux
5	Masjid, Gereja, dsb	500 lux	250 lux
6	Rumah tinggal		
	Ruang tamu	250 lux	150 lux
	Penerangan umum	100 lux	50 lux
7	Dapur		
	Penerangan umum untuk dapur	250 lux	125 lux
8	Ruang-ruangan lain		
	Kamar tidur, kamar rias	500 lux	250 lux
	Wc	100 lux	50 lux
	Gang, tangga, gudang, garasi	250 lux	125 lux
	Penerangan umum (koridor)	250 lux	125 lux

6. Faktor Penyusutan

Intensitas penerangan E dalam keadaan dipakai adalah intensitas penerangan rata-rata suatu instalasi dengan lampu-lampu dan armatur-armatur yang daya gunanya telah berkurang karena kotor, sudah lama tidak dipakai, atau sebab-sebab lainnya. Efisien penerangan diberikan pada tabel 2 dibawah ini:

7. Beban Dalam Ruang

Dalam suatu ruangan yang harus diperhatikan adalah sistem penerangan lampu dan jumlah lampu yang

dibutuhkan dalam suatu ruangan ditentukan dalam persamaan:

Efisiensi penerangan untuk keadaan baru											Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan					
Armatur langsung tak langsung	v	k	r <sub>w</sub>	f <sub>p</sub> 0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun	
				0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1				
%				r <sub>m</sub>	0,1											
GCB	0,5	0,26	0,20	0,17	0,22	0,18	0,15	0,19	0,16	0,14						
2 x TLF 36 W	0,6	0,30	0,25	0,21	0,26	0,22	0,19	0,23	0,19	0,17						
roster sejajar	0,8	0,38	0,32	0,28	0,33	0,29	0,25	0,28	0,25	0,23						
	1	0,43	0,38	0,34	0,38	0,34	0,30	0,32	0,29	0,27						
	1,2	0,47	0,42	0,38	0,41	0,37	0,34	0,35	0,32	0,30						
	1,5	0,51	0,47	0,43	0,45	0,41	0,38	0,38	0,36	0,33						
	38	2	0,56	0,52	0,49	0,49	0,46	0,43	0,42	0,40						
	↑	2,5	0,59	0,56	0,52	0,52	0,49	0,46	0,44	0,42						
	81	3	0,61	0,58	0,55	0,54	0,51	0,49	0,46	0,44						
	↓	4	0,64	0,62	0,59	0,56	0,54	0,52	0,48	0,47						
	43	5	0,66	0,64	0,62	0,58	0,56	0,54	0,50	0,48						

Efisiensi penerangan untuk keadaan baru											Faktor depresiasi untuk masa pemeliharaan					
armatur	v	k	r <sub>w</sub>	f <sub>p</sub> 0,7			0,5			0,3			1 tahun	2 tahun	3 tahun	
				0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1				
%				r <sub>m</sub>	0,1											
LAMPU SL	0,5	0,23	0,18	0,14	0,20	0,16	0,12	0,18	0,14	0,11						
20 W	0,6	0,27	0,21	0,17	0,24	0,19	0,15	0,20	0,16	0,13						
	0,8	0,34	0,28	0,23	0,29	0,24	0,20	0,25	0,21	0,18						
	1	0,39	0,33	0,28	0,34	0,29	0,25	0,29	0,25	0,21						
	1,2	0,43	0,37	0,32	0,37	0,32	0,28	0,31	0,27	0,24						
	1,5	0,47	0,41	0,36	0,41	0,36	0,32	0,35	0,31	0,28						
	38	2	0,52	0,47	0,42	0,45	0,41	0,37	0,39	0,35						
	↑	2,5	0,56	0,51	0,47	0,48	0,44	0,41	0,41	0,38						
	81	3	0,59	0,54	0,50	0,51	0,47	0,44	0,43	0,41						
	↓	4	0,62	0,58	0,55	0,54	0,51	0,48	0,46	0,44						
	43	5	0,65	0,61	0,58	0,56	0,54	0,51	0,48	0,46						

$$n = \frac{E \times A}{\phi \times \eta \times d} \tag{4}$$

dengan:

- n = Jumlah titik beban (lampu)
- E = Intensitas penerangan/luminasi
- A = Luas ruangan(panjang x lebar = m<sup>2</sup>)
- φ = Flux cahaya lampu (lumen)
- η = Efisiensi penerangan
- d = Depresiasi

8. Menentukan Kapasitas pengaman

Menentukan kapasitas pengaman pada pembagian tiap group (kelompok) instalasi listrik fasa satu dengan tegangan 220 volt, maka arus yang mengalir menentukan kapasitas skering ataupun pengaman pada Perangkat Hubung Bagi (PHB) instalasi listrik fasa tiga dengan tegangan 380/220 volt. Untuk menentukan kapasitas pengaman terdapat beberapa rumus persamaan untuk instalasi listrik fasa satu dan fasa tiga, yaitu :

$$I_n = \frac{P}{\cos\phi \times V_L \times \sqrt{3}} \text{ untuk fasa tiga} \tag{5}$$

$$I_n = \frac{P}{V_f \times \cos\phi} \text{ untuk fasa satu} \tag{6}$$

Dengan :

- I<sub>n</sub> = Arus nominal (Ampere)
- P = Daya listrik (Watt)
- V<sub>L</sub> = Tegangan Line (380 V<sub>LL</sub>)
- V<sub>f</sub> = Tegangan fasa ( 220 V<sub>LN</sub>)
- Cosφ = Faktor daya

9. Luas Penampang Kabel

Luas penampang kabel pada perencanaan instalasi listrik harus memenuhi standar dan ukuran yang telah ditetapkan pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL)2011.

$$A = \frac{2 \times l \times I \times \cos \varphi}{\gamma \times u} \tag{7}$$

Dengan:

- A : Luas penampang penghantar yang digunakan ( $m^2$ )
- $\gamma$  : Daya hantar jenis dari bahan bahan penghantar : (untuk tembaga =  $56,2 \times 10^6$ )
- $l$  : panjang penghantar (m)
- I : Arus beban (A)
- u : Rugi tegangan dalam penghantar (V)
- $\cos \varphi$  : Faktor daya

10. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan atau jatuh tegangan merupakan penyimpangan tegangan terhadap tegangan sumber. Jatuh tegangan sesuai dengan yang disyaratkan oleh PUIL 2011 adalah  $\leq 4\%$ . Jatuh tegangan yang berlebihan akan menyebabkan kerusakan peralatan, beban akan bekerja keras karena tegangan pendorong arus menurun sedangkan daya yang diperlukan tidak berubah. Kondisi ini akan menyebabkan kabel menjadi panas berlebih dan terbakar. (Nur, Karnoto, & Derman, 2020)

Jatuh tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$V_{drop} = (\sqrt{3} \times L \times I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)) \tag{8}$$

Dimana :

- $V_{drop}$  = Jatuh tegangan
- I = Arus (Ampere)
- L = Panjang Kabel (km)
- R = Resistansi kabel (Ohm/Km)
- X = Reaktansi kabel (Ohm/km)
- $\cos \varphi, \sin \varphi$  = Faktor daya

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian tugas akhir ini dilakukan di Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara. Penelitian akan dilaksanakan dalam waktu kurang lebih enam bulan ( juli – desember) untuk mengumpulkan data serta mengolah data yang telah terkumpul.

B. Prosedur Penelitian

prosedur penelitian disusun agar penelitian dapat berjalan sesuai dengan prosedur yang direncanakan. Berikut langkah langkah penelitian dapat dilihat dari *Flowchart* penelitian

C. Studi Literatur

Pengumpulan data dan mempelajari teori dari karya tulis (jurnal, buku, dll) yang berkaitan dengan permasalahan penelitian untuk memperkuat dasar teori yang digunakan dalam menyelesaikan masalah pada penelitian.

D. Pengumpulan Data

1. Observasi lapangan, mencari informasi tentang apa saja yang dibutuhkan dalam penelitian, dan melihat objek yang akan diteliti.
2. Analisa data kuantitatif, mengumpulkan data dan data hasil dari perhitungan akan dianalisa dan mendapatkan kesimpulan dari penelitian yang diteliti

E. Langkah-langkah perhitungan

Pada penelitian ini ada beberapa perhitungan yang akan dilakukan, yang pertama perhitungan indeks ruang  $k$ . Indeks ruang merupakan perbandingan yang berhubungan dengan ukuran bidang keseluruhan terhadap bidang kerja dan titik lampu. Selanjutnya menghitung nilai efisiensi penerangan untuk menentukan penerangan dalam ruangan yaitu jumlah titik lampu, penentuan titik lampu sangat diperlukan untuk mendapatkan hasil penerangan dalam ruang yang baik.

Menghitung kuat hantar arus (KHA) dengan mengalikan nilai arus nominal dengan 125%, merupakan nilai aman, faktor dari arus nominal dengan tujuan agar kabel lebih tahan lama dan menjaga ketika ada arus lonjakan. Setelah itu menghitung nilai jatuh tegangan dimana nilai jatuh tegangan yang disyaratkan berdasarkan PUIL 2011 adalah  $\leq 4\%$ , jika hasil jatuh tegangan melebihi nilai yang disyaratkan oleh PUIL maka akan dilakukan perhitungan kembali sehingga mendapatkan nilai jatuh tegangan sesuai yang disyaratkan PUIL 2011.

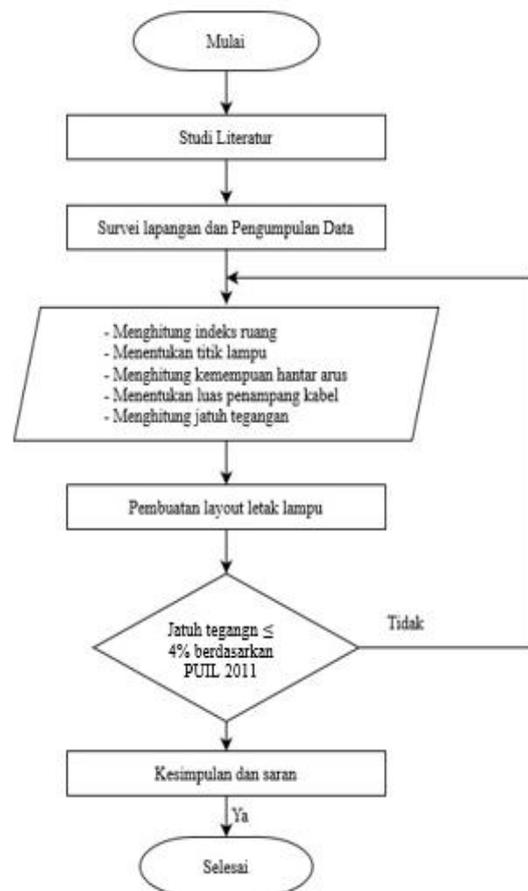
F. Pembuatan Layout Letak Lampu

Setelah melakukan perhitungan maka akan dilanjutkan dengan pembuatan layout letak lampu berdasarkan hasil perhitungan.

G. Analisa Data

Menggunakan data hasil perhitungan dari data yang dikumpulkan, setelah data hasil perhitungan didapatkan maka akan dianalisa apakah mencapai tujuan dari penelitian.

H. Flochart penelitian



Gambar 2. Flowchart Alur Analisa Dan Pengukuran Data

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Data Ruang Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara

Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara terdiri dari 3 lantai, dimana pada lantai 1 dan 2 terdapat 3 zona, yaitu A,B dan C, dan lantai 3 terdapat 1 zona. Data ruangan Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara disetiap lantainya dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel II  
Data ruangan Lantai 1 zona A

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas Ruang	(h)
1	R. Anggota Dewan 1	7,5	6,5	48,75	3,05
2	R. Sekretaris Dewan 1	5	2,5	12,5	3,05
3	Wc Anggota Dewan 1	2,5	1,5	3,75	3,05
4	R. Anggota Dewan 2	7,5	6,5	48,75	3,05
5	R. Sekretaris Dewan 2	5	2,5	12,5	3,05
6	Wc Anggota Dewan 2	2,5	1,5	3,75	3,05
7	R. Anggota Dewan 3	7,5	6,5	48,75	3,05
8	R. Sekretaris Dewan 3	5	2,5	12,5	3,05
9	Wc Anggota Dewan 3	2,5	1,5	3,75	3,05
10	R. Anggota Dewan 4	7,5	6,5	48,75	3,05
11	R. Sekretaris Dewan 4	5	2,5	12,5	3,05
12	Wc Anggota Dewan 4	2,5	1,5	3,75	3,05
13	R. Anggota Dewan 5	7,5	6,5	48,75	3,05
14	R. Sekretaris Dewan 5	5	2,5	12,5	3,05
15	Wc Anggota Dewan 5	2,5	1,5	3,75	3,05
16	R. Anggota Dewan 6	7,5	6,5	48,75	3,05
17	R. Sekretaris Dewan 6	5	2,5	12,5	3,05
18	Wc Anggota Dewan 6	2,5	1,5	3,75	3,05
19	R. Anggota Dewan 7	7,5	6,5	48,75	3,05
20	R. Sekretaris Dewan 7	5	2,5	12,5	3,05
21	Wc Anggota Dewan 7	2,5	1,5	3,75	3,05
22	R. Anggota Dewan 8	7,5	6,5	48,75	3,05
23	R. Sekretaris Dewan 8	5	2,5	12,5	3,05

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas Ruang	(h)
24	Wc Anggota Dewan 8	2,5	1,5	3,75	3,05
25	R. Anggota Dewan 9	7,5	6,5	48,75	3,05
26	R. Sekretaris Dewan 9	5	2,5	12,5	3,05
27	Wc Anggota Dewan 9	2,5	1,5	3,75	3,05
28	R. Anggota Dewan 10	7,5	6,5	48,75	3,05
29	R. Sekretaris Dewan 10	5	2,5	12,5	3,05
30	Wc Anggota Dewan 10	2,5	1,5	3,75	3,05
31	R. Anggota Dewan 11	7,5	6,5	48,75	3,05
32	R. Sekretaris Dewan 11	5	2,5	12,5	3,05
33	Wc Anggota Dewan 11	2,5	1,5	3,75	3,05
34	R. Anggota Dewan 12	7,5	6,5	48,75	3,05
35	R. Sekretaris Dewan 12	5	2,5	12,5	3,05
36	Wc Anggota Dewan 12	2,5	1,5	3,75	3,05
37	R. Sekretariat Fraksi 1	10	6	60	3,05
38	R. Sekretariat Fraksi 2	10	6	60	3,05
39	Mushola	5,5	6	33	3,05
40	Perpustakaan	5,5	3,5	19,25	3,05
41	R. Security	5,4	1,6	8,64	3,05
42	Lobby	14	7,5	105	3,05
43	R. Panel	2,5	1,5	3,75	3,05
44	Pantry	2,5	2,4	6	3,05
45	Wc	2,5	1,5	3,75	3,05
46	Koridor 1	24	2,5	60	3,05
47	Koridor 2	24	2,5	60	3,05

Tabel III  
Data ruangan Lantai 1 zona B

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas	(h)
1	R. Kabag Umum	6,5	5,5	35,75	3,05
2	R. Kasubag 1	22	7	154	3,05
3	R. Sdp Gdg	4,5	4	18	3,05
4	R. Kasubag 2	15,5	10	155	3,05
5	R. Kabag Hukum Dan Pengawasan	6	4	24	3,05
6	R. Gudang Arsip	8	6	48	3,05

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas	(h)
7	R.Keuangan	8	4,5	36	3,05
8	R.Kasubag 3	15,5	10	155	3,05
9	R.Kabag Penganggaran Dan Pengawasan	6	4	24	3,05
10	R.Tamu 1	8	3	24	3,05
11	R.Tamu 2	8	3	24	3,05
12	Koridor Ruang 1	14	2	28	3,05
13	Koridor Ruang 2	14	2	28	3,05
14	Pantry	8,5	2	17	3,05
15	Toilet Wanita	4,25	4,5	19,125	3,05
16	Toilet Pria	4,25	4,5	19,125	3,05
17	Lobby	24	24,5	588	3,05
18	Koridor 1	21	4	84	3,05
19	Koridor 2	21	4	84	3,05
20	Koridor 3	21	4	84	3,05
21	Koridor 4	21	4	84	3,05
22	Teras Depan	20,5	7,5	153,75	3,05

Tabel IV  
Data ruangan Lantai 1 zona C

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas Ruang	(h)
1	R.Anggota Dewan 1	7,5	6,5	48,75	3,05
2	R.Sekretaris Dewan 1	5	2,5	12,5	3,05
3	Wc Anggota Dewan 1	2,5	1,5	3,75	3,05
4	R.Anggota Dewan 2	7,5	6,5	48,75	3,05
5	R.Sekretaris Dewan 2	5	2,5	12,5	3,05
6	Wc Anggota Dewan 2	2,5	1,5	3,75	3,05
7	R.Anggota Dewan 3	7,5	6,5	48,75	3,05
8	R.Sekretaris Dewan 3	5	2,5	12,5	3,05

No	Nama Ruang	P (m)	L (m)	Luas Ruang	(h)
9	Wc Anggota Dewan 3	2,5	1,5	3,75	3,05
10	R.Anggota Dewan 4	7,5	6,5	48,75	3,05
11	R.Sekretaris Dewan 4	5	2,5	12,5	3,05
12	Wc Anggota Dewan 4	2,5	1,5	3,75	3,05
13	R.Anggota Dewan 5	7,5	6,5	48,75	3,05
14	R.Sekretaris Dewan 5	5	2,5	12,5	3,05
15	Wc Anggota Dewan 5	2,5	1,5	3,75	3,05
16	R.Anggota Dewan 6	7,5	6,5	48,75	3,05
17	R.Sekretaris Dewan 6	5	2,5	12,5	3,05
18	Wc Anggota Dewan 6	2,5	1,5	3,75	3,05
19	R.Anggota Dewan 7	7,5	6,5	48,75	3,05
20	R.Sekretaris Dewan 7	5	2,5	12,5	3,05
21	Wc Anggota Dewan 7	2,5	1,5	3,75	3,05
22	R.Anggota Dewan 8	7,5	6,5	48,75	3,05
23	R.Sekretaris Dewan 8	5	2,5	12,5	3,05
24	Wc Anggota Dewan 8	2,5	1,5	3,75	3,05
25	R.Anggota Dewan 9	7,5	6,5	48,75	3,05
26	R.Sekretaris Dewan 9	5	2,5	12,5	3,05
27	Wc Anggota Dewan 9	2,5	1,5	3,75	3,05
28	R.Anggota Dewan 10	7,5	6,5	48,75	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
29	R.Sekretaris Dewan 10	5	2,5	12,5	3,05
30	Wc Anggota Dewan 10	2,5	1,5	3,75	3,05
31	R.Anggota Dewan 11	7,5	6,5	48,75	3,05
32	R.Sekretaris Dewan 11	5	2,5	12,5	3,05
33	Wc Anggota Dewan 11	2,5	1,5	3,75	3,05
34	R.Anggota Dewan 12	7,5	6,5	48,75	3,05
35	R.Sekretaris Dewan 12	5	2,5	12,5	3,05
36	Wc Anggota Dewan 12	2,5	1,5	3,75	3,05
37	R.Anggota Dewan 13	7,5	6,5	48,75	3,05
38	R.Sekretaris Dewan 13	5	2,5	12,5	3,05
39	Wc Anggota Dewan 13	2,5	1,5	3,75	3,05
40	R.Sekretariat Fraksi 3	10	6	60	3,05
41	R. Security	5,5	3	16,5	3,05
42	Klinik	5,5	3	16,5	3,05
43	R. Darma Wanita	5,5	3,5	19,25	3,05
44	R.Kontrol	5,4	1,6	8,64	3,05
45	Lobby	14	7,5	105	3,05
46	R.Panel	2,5	1,5	3,75	3,05
47	Pantry	2,5	2,4	6	3,05
48	Wc	2,5	1,5	3,75	3,05
49	Koridor 1	24	2,5	60	3,05
50	Koridor 2	24	2,5	60	3,05

Tabel V  
Data ruangan Lantai 2 zona A

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
1	R.Ketua Komisi 1	7,5	6	45	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
2	R. Tunggu Ketua Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
3	Wc Ketua Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
4	R. Wakil Komisi 1	7,5	6	45	3,05
5	R. Tunggu Wakil Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
6	Wc Wakil Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
7	R.Sekretaris 1 Komisi 1	7,5	6	45	3,05
8	R.Tunggu Sekretaris 1 Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
9	Wc Sekretaris 1 Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
10	R.Sekretaris 2 Komisi 1	7,5	6	45	3,05
11	R.Tunggu Sekretaris 2 Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
12	Wc Sekretaris 2 Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
13	R.Ketua Komisi 2	7,5	6	45	3,05
14	R. Tunggu Ketua Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
15	Wc Ketua Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
16	R. Wakil Komisi 2	7,5	6	45	3,05
17	R. Tunggu Wakil Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
18	Wc Wakil Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
19	R.Sekretaris 1 Komisi 2	7,5	6	45	3,05
20	R.Tunggu Sekretaris 1 Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
21	Wc Sekretaris 1 Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
22	R.Sekretaris 2 Komisi 2	7,5	6	45	3,05
23	R.Tunggu Sekretaris 2 Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
24	Wc Sekretaris 2 Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
25	R.Staf Komisi 1	4,5	3,5	15,75	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
26	R.Tunggu Staf Komisi 1	8,5	4,5	38,25	3,05
27	R.Rapat Komisi 1	12	8	96	3,05
28	R.Staf Komisi 2	4,5	3,5	15,75	3,05
29	R.Tunggu Staf Komisi 2	8,5	4,5	38,25	3,05
30	R.Rapat Komisi 2	12	8	96	3,05
31	R.Sekretariat Fraksi 1	9,5	6	57	3,05
32	R.Sekretariat Fraksi 2	9,5	6	57	3,05
33	Wc Pria	4	3,5	14	3,05
34	Wc Wanita	4	3,5	14	3,05
35	Depan Wc	7	1	7	3,05
36	R.Security	3	1,5	4,5	3,05
37	Pantry	5,5	1,5	8,25	3,05
38	Lobby 1	12,5	7,5	93,75	3,05
39	Studio Parlemen	8	6	48	3,05
40	R.Panel	3	1,5	4,5	3,05
41	Lobby 2	8	7,5	60	3,05
42	Koridor 1	12,5	5	62,5	3,05
43	Koridor 2	12,5	5	62,5	3,05

Tabel VI  
Data ruangan Lantai 2 zona B

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
1	R.Sidang	26,5	22,5	596,25	3,05
2	Panggung R.Sidang	17	5	85	3,05
3	Toilet R.Sidang	4	2,5	10	3,05
4	R.Sto	5,5	3,5	19,25	3,05
5	R.Kontrol	2,5	2	5	3,05
6	Balkon 1	25	3	75	3,05
7	Balkon 2	25	3	75	3,05
8	R.Staff 1	6	3	18	3,05
9	R.Wakil Ketua Dprd 1	7	6	42	3,05
10	R.Rapat 1	6,5	4	26	3,05
11	R.Istirahat 1	4,5	2	9	3,05
12	Toilet 1	2	2	4	3,05
13	R.Staff 2	6	3	18	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
14	R.Wakil Ketua Dprd 2	7	6	42	3,05
15	R.Rapat 2	6,5	4	26	3,05
16	R.Istirahat 2	4,5	2	9	3,05
17	Toilet 2	2	2	4	3,05
18	Koridor 1	21	3	63	3,05
19	Koridor 2	21	3	63	3,05
20	Koridor 3	21	3	63	3,05
21	Koridor 4	21	3	63	3,05
22	R.Rapat 3	7	6	42	3,05
23	R.Staf 3	6,5	4	26	3,05
24	Toilet 3	2	2	4	3,05
25	R.Istirahat 3	4,5	2	9	3,05
26	R.Sekwan	7	6	42	3,05
27	R.Wakil Ketua Dprd 3	7	6	42	3,05
28	R.Rapat 3	7	6	42	3,05
29	R.Istirahat 3	4,5	2	9	3,05
30	Toilet 3	2	2	4	3,05
31	R.Tunggu	6,5	4	26	3,05
32	R. Ketua Dprd	8	6,5	52	3,05
33	R.Staf	8	4	32	3,05
34	R.Rapat	11	8,5	93,5	3,05
35	R.Istirahat	5	3	15	3,05
36	Toilet Ketua	2	1,5	3	3,05
37	R.Tamu	8	7,5	60	3,05
38	Lobby	24	17	408	3,05

Tabel VII  
Data ruangan Lantai 2 zona C

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
1	R.Ketua Komisi 1	7,5	6	45	3,05
2	R. Tunggu Ketua Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
3	Wc Ketua Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
4	R. Wakil Komisi 1	7,5	6	45	3,05
5	R. Tunggu Wakil Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
6	Wc Wakil Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
7	R.Sekretaris 1 Komisi 1	7,5	6	45	3,05
8	R.Tunggu Sekretaris 1 Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
9	Wc Sekretaris 1 Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
10	R.Sekretaris 2 Komisi 1	7,5	6	45	3,05
11	R.Tunggu Sekretaris 2 Komisi 1	4,5	2,5	11,25	3,05
12	Wc Sekretaris 2 Komisi 1	2,5	1,5	3,75	3,05
13	R.Ketua Komisi 2	7,5	6	45	3,05
14	R. Tunggu Ketua Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
15	Wc Ketua Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
16	R. Wakil Komisi 2	7,5	6	45	3,05
17	R. Tunggu Wakil Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
18	Wc Wakil Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
19	R.Sekretaris 1 Komisi 2	7,5	6	45	3,05
20	R.Tunggu Sekretaris 1 Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
21	Wc Sekretaris 1 Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
22	R.Sekretaris 2 Komisi 2	7,5	6	45	3,05
23	R.Tunggu Sekretaris 2 Komisi 2	4,5	2,5	11,25	3,05
24	Wc Sekretaris 2 Komisi 2	2,5	1,5	3,75	3,05
25	R.Staf Komisi 1	4,5	3,5	15,75	3,05
26	R.Tunggu Staf Komisi 1	8,5	4,5	38,25	3,05
27	R.Rapat Komisi 1	12	8	96	3,05
28	R.Staf Komisi 2	4,5	3,5	15,75	3,05
29	R.Tunggu Staf Komisi 2	8,5	4,5	38,25	3,05
30	R.Rapat Komisi 2	12	8	96	3,05

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
31	R.Sekretariat Fraksi 1	9,5	6	57	3,05
32	R.Sekretariat Fraksi 2	9,5	6	57	3,05
33	Wc Pria	4	3,5	14	3,05
34	Wc Wanita	4	3,5	14	3,05
35	Depan Wc	7	1	7	3,05
36	R.Security	3	1,5	4,5	3,05
37	Pantry	5,5	1,5	8,25	3,05
38	Lobby 1	12,5	7,5	93,75	3,05
39	R.Konsultasi	8	6	48	3,05
40	R.Panel	3	1,5	4,5	3,05
41	Lobby 2	8	7,5	60	3,05
42	Koridor 1	12,5	5	62,5	3,05
43	Koridor 2	12,5	5	62,5	3,05

Tabel VIII  
Data ruangan Lantai 3

No	Nama Ruangan	P (m)	L (m)	Luas Ruangan	(h)
1	R.Rapat Badan	24,5	6	147	3,05
2	R.Rapat Badan Anggaran	10	6	60	3,05
3	R.Rapat Badan Pembentukan Peraturan Daerah	10	6	60	3,05
4	R.Rapat Badan Kehormatan	10	6,5	65	3,05
5	R.Rapat Badan Musyawarah	10	6,5	65	3,05
6	Lobby Lift	19,5	4,5	87,75	3,05
7	Koridor	12,5	3	37,5	3,05
8	Toilet 1	2,5	1,5	3,75	3,05
9	Toilet 2	2,5	1,5	3,75	3,05

## B. Perhitungan Instalasi Penerangan pada Gedung Lantai 1,2, 3

Tabel IX  
Ruang Anggota Dewan 1

Ruangan	Panjang Ruang (m)	Lebar Ruang (m)	Luas Ruang (m <sup>2</sup> )	Intensitas Penerangan (E)(Lux)	Tinggi Armatur Bidang Kerja (d)
R.Aanggota Dewan 1	7,5	6,5	48,75	500	3,05

Tinggi lampu terhadap bidang kerja:

$h = t -$  tinggi media kerja

$$h = 3,85 - 0,8 \text{ m}$$

$$h = 3,05 \text{ m}$$

$$k = \frac{p \times l}{h(p+l)}$$

$$k = \frac{7,5 \times 6,5}{3,05(7,5+6,5)}$$

$$k = 1,1417$$

Faktor-faktor refleksi

$r_p$  = faktor refleksi-refleksi langit-langit(0.5)

$r_w$  = faktor refleksi-refleksi dinding(0.3)

$r_m$  = faktor refleksi-refleksi bidang pengukuran(0.1)

Untuk :

$$k = 1.417$$

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 1.2$$

$$\eta_1 = 0.45$$

$$\eta_2 = 0,49$$

Efisiensi penerangan untuk nilai Indeks Ruang ( $k$ ) adalah:

$$\eta = \eta_1 + \frac{k-k_1}{k_2-k_1}(\eta_2 - \eta_1)$$

$$\eta = 0,45 + \frac{1,417-1}{1,2-1}(0,49-0,45)$$

$$\eta = 0,4783 \text{ (efisiensi penerangan)}$$

Menggunakan lampu TL 2 X 36 watt, (2 x 3250 lumen),  $\cos \Phi$  pada lampu TL 0,8

$$n = \frac{E \cdot A}{\Phi \cdot \eta \cdot d}$$

$$n = \frac{500 \times 48.75}{6500 \times 0,4783 \times 0,8}$$

$$n = \frac{24375}{2487,16}$$

$$n = 9,79957 \text{ buah lampu}$$

Maka total daya penerangan pada ruang anggota dewan 1 :

$$10 \times 36 = 360 \text{ watt}$$

C. Perhitungan  $I_n$ , KHA dan Luas penampang kabel

Lantai 1,2,3

Perhitungan nilai  $I_n$ , KHA instalasi penerangan lantai 1

zona A, R.Sekretariat fraksi 1

$$I_n = \frac{P}{V_f \times \cos \phi} = \frac{432}{220 \times 0,8} = 2,45 \text{ A} \approx 4 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \cdot 125\% = 2,45 \cdot 1,25 = 3.06 \text{ A}$$

Pannjang Kabel 25 m

Luas penampang penerangan R. Sekretariat fraksi

$$A = \frac{2 \times l \times I_n \times \cos \phi}{Y \times u} = \frac{2 \times 25 \times 2,45 \times 0,8}{56,2 \times 10^6 \times 4\% \times 220}$$

$$A = \frac{98}{494,56}$$

$$A = 0,019 \times 10^{-6} \text{ meter}^2$$

$$A = 0,019 \text{ mm}^2 \approx 1,5 \text{ mm}^2$$

Kabel yang digunakan adalah kabel dengan ukuran 1,5 mm dikarenakan ukuran minimal kabel instalasi listrik yang ada dipasaran sebesar 1,5 mm.

Perhitungan setiap ruangan menggunakan rumus yang sama dengan data yang berbeda

D. Perhitungan  $I_n$  dan KHA untuk menentukan MCCB pengaman grub lampu dan stopkontak pada panel pembagi lantai 1,2,3.

Lantai 1 (penerangan)

a. Zona a

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{8032}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 15,25 \text{ A} \approx 16 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 15,25 \times 125\% = 19,06 \text{ A}$$

b. Zona b

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{6544}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 12,42 \text{ A} \approx 16 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 12,42 \times 125\% = 15,525 \text{ A}$$

c. Zona c

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{8220}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 15,6 \text{ A} \approx 16 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 15,6 \times 125\% = 19,5 \text{ A}$$

Lantai 1 (stopkontak)

a. Zona a

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{66950}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 127,1 \text{ A} \approx 160 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 127,1 \times 125\% = 158,8 \text{ A}$$

b. Zona b

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{6280}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 11,92 \text{ A} \approx 16 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 11,92 \times 125\% = 14,9 \text{ A}$$

c. Zona c

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{70870}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 134,59 \text{ A} \approx 160 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 134,59 \times 125\% = 168,24 \text{ A}$$

Lantai 2 (penerangan)

a. Zona a

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{7128}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 13,53 \text{ A} \approx 16 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 13,53 \times 125\% = 16,91 \text{ A}$$

b. Zona b

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{10318}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 19,59 \text{ A} \approx 25 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 19,59 \times 125\% = 24,49 \text{ A}$$

c. Zona c

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{7128}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 21,65 \text{ A} \approx 25 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 21,65 \times 125\% = 27,07 \text{ A}$$

Lantai 2 (stopkontak)

a. Zona a

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{71300}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 135,4 \text{ A} \approx 160 \text{ A}$$

$$\text{KHA} = I_n \times 125\% = 135,4 \times 125\% = 169,2 \text{ A}$$

b. Zona b

$$I_n = \frac{P}{\cos \phi \times V_L \times \sqrt{3}} = \frac{57000}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 108,25 \text{ A} \approx 125 \text{ A}$$

$$\begin{aligned} \text{KHA} &= I_n \times 125\% = 108,2 \times 125\% = 135,3 \text{ A} \\ \text{c. Zona c} \\ I_n &= \frac{P}{\text{COS}\phi \times \text{VLx}\sqrt{3}} = \frac{71300}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 135,411 \text{ A} \approx 160 \text{ A} \\ \text{KHA} &= I_n \times 125\% = 135,411 \times 125\% = 169,2 \text{ A} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lantai 3 (penerangan)} \\ I_n &= \frac{P}{\text{COS}\phi \times \text{VLx}\sqrt{3}} = \frac{2992}{0,8 \times 380 \times \sqrt{3}} = 5,68 \text{ A} \approx 6 \text{ A} \\ \text{KHA} &= I_n \times 125\% = 5,68 \times 125\% = 7,1 \text{ A} \end{aligned}$$

Tabel X  
Hasil perhitungan penerangan dan stop kontak

No	Panel Pembagi	Total Daya Lampu (W)	Total Daya STC (W)	In (A)	KHA (A)	MCCB (A)
1	Lantai 1 zona a	8032	-	15,25	19,06	16
		-	66950	127,1	158,8	160
2	lantai 1 zona b	6544	-	12,42	15,525	16
		-	6280	11,92	14,9	16
3	lantai 1 zona c	8220	-	15,6 A	19,5	16
		-	70870	134,59	168,24	160
4	Lantai 2 zona a	7128	-	13,53	16,91	16
		-	71300	135,4	160	160
5	lantai 2 zona b	10316	-	19,59	24,49	25
		-	57000	108,25	135,3	125
6	lantai 2 zona c	7128	-	21,65	27,07	25
		-	71300	135,411	169,2	160
7	Lantai 3	2992	-	5,68	7,1	6

#### E. Menghitung Jatuh Tegangan

Lantai 1 zona A

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 142,35 (2,266.0,8 + 0,084. \\ &0,0139)) \\ &= 4,47 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{4,47}{380} \times 100\% \\ &= 1,17\% \end{aligned}$$

Lantai 1 zona B

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 24,34 (2,266.0,8 + 0,084. 0,0139)) \\ &= 0,76 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{0,76}{380} \times 100\% \\ &= 0,2\% \end{aligned}$$

Lantai 1 zona C

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 150,19 (2,266.0,8 + 0,084. \\ &0,0139)) \\ &= 4,71 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{4,71}{380} \times 100\% \\ &= 1,2\% \end{aligned}$$

Lantai 2 zona A

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 148,93 (2,266.0,8 + 0,084. \\ &0,0139)) \\ &= 4,67 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{4,67}{380} \times 100\% \\ &= 1,23\% \end{aligned}$$

Lantai 2 zona B

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 148,93 (2,266.0,8 + 0,084. \\ &0,0139)) \\ &= 4,016 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{4,016}{380} \times 100\% \\ &= 1,05\% \end{aligned}$$

Lantai 2 zona C

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 148,93 (2,266.0,8 + 0,084. \\ &0,0139)) \\ &= 4,93 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{4,93}{380} \times 100\% \\ &= 1,29\% \end{aligned}$$

Lantai 3

$$\begin{aligned} \text{Vdrop} &= (\sqrt{3} \times L \times I_n (\text{R.Cos}\phi + \text{X. Sin}\phi)) \\ &= (\sqrt{3} \times 0,01 \times 5,68 (2,266.0,8 + 0,084. 0,0139)) \\ &= 0,178 \text{ volt} \\ \text{Vdrop} &= \frac{0,178}{380} \times 100\% \\ &= 0,046\% \end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan pada perencanaan instalasi penerangan Gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara didapat hasil sebagai berikut:

1. Nilai indeks ruang, jumlah titik lampu yang dibutuhkan pada setiap ruangan dan luas penampang kabel dapat dilihat pada tabel hasil perhitungan.
2. Total daya yang didapatkan pada gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara sebesar 394060 Watt,

dengan pengaman MCCB 901 Ampere, dengan daya lantai 1 sebesar 166896 Watt, lantai 2 sebesar 224172, dan lantai 3 sebesar 2992 Watt.

3. Tiap lantai dibagi menjadi dua grub yaitu penerangan dan stopkontak. Pada lantai 1 total daya penerangan sebesar 22796 Watt dan 144100 Watt total daya stopkontak, lantai 2 total daya penerangan sebesar 24572 Watt, dan 199600 Watt total daya stopkontak, lantai 3 memiliki total daya penerangan sebesar 2992 Watt.
4. Hasil perhitungan jatuh teganga pada lantai 1 zona A,B dan C sebesar 1,17%, 0,2%, dan 1,2%, pada lantai 2 zona A,B,C sebesar, 1,23%, 1,05%,1,29%, dan pada lantai 3 sebesar 0,046%. Hasil yang didapatkan sesuai dengan standar yang ditetapkan PUIL  $\leq 4\%$ . Semakin besar daya maka nilai jatuh tegangan yang didapatkan semakin meningkat.

#### B. Saran

Berdasarkan hasil dari penelitian ini, penulis memberikan saran sebagai berikut:

1. Bagi yang melakukan penelitian selanjutnya dapat menghitung secara menyeluruh beban yang digunakan serta RAB untuk instalasi pada gedung DPRD Provinsi Kalimantan Utara.
2. Bagi peneliti selanjutnya diharapkan menggunakan standar yang telah ditentukan untuk syarat pekerjaan instalasi listrik, seperti pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011.

## VI. REFERENSI

- [1] Aprizulkifli, & Sugeng, R. (2021). Perancangan Instalasi Penerangan pada Gedung Laboratorium dan Perkuliahan Terpadu Universitas Borneo Tarakan. *Jurnal: ElektriKa Borneo (JEB)*, 11-18.
- [2] Handayani, N. J., Toto, T., & Robert, A. (2021). Perancangan Ulang Instalasi Listrik Penerangan Laboratorium Mesin SMK 2 Perkasa. *Industrial Research Workshop and National Seminar*, 168-174.
- [3] Standar Nasional Indonesia. (2011). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011). *DirJen Ketenagalistrikan, 2011(PUIL)*, 1–133.
- [4] Nur, K., Karnoto, & Derman. (2020). Perencanaan Instalasi Listrik Gedung Produksi Fashion Teknologi BBPLK Semarang. *Teknik Elektro Universitas Semarang*, 1-6.
- [5] Samuel J, K., Hans, T., & Maikel, T. (2015). Desain Instalasi Penerangan Pada Bangunan Multi Fungsi. *E-journal Teknik Elektro (2015)*, ISSN : 2301-8402, 12-17.
- [6] Harten, P.Van & Setiawan, E.,(1985). *Instalasi listrik arus kuat 1*. 1st ed. bandung: Binacipta.
- [7] Harten, P.Van & Setiawan, E.,(1991). *Instalasi listrik arus kuat 2*. 2st ed. bandung: Binacipta
- [8] Harten, P.Van & Setiawan, E.,(1991). *Instalasi listrik arus kuat 3*. 3st ed. bandung: Binacipta

# EVALUASI PENANGKAL PETIR MENGGUNAKAN METODE SUDUT PROTEKSI PADA GEDUNG REKTORAT UNIVERSITAS BORNEO TARAKAN

Sugeng Riyanto<sup>1</sup>, Alzat Gunawan<sup>2</sup>,

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan, Kalimantan Utara

<sup>1</sup>sugeng072.sr@gmail.com

<sup>2</sup>alzatbadar89@gmail.com

**Abstract**—Tall buildings are one of the objects most likely to be at risk of lightning strikes. Therefore, it is important to protect tall buildings with a reliable system. This study evaluates the lightning arrester system at the Rectorate Building of the University of Borneo Tarakan. The method used is the protection angle. To analyze, the measurement data of the resistance (Grounding) of 35.6  $\Omega$  was obtained. Based on the calculation results, the value of the parallel grounding resistance is 0.67  $\Omega$ . With the SNI standard, the calculation of the grounding resistance is 0.24  $\Omega$ . The data on the results of thunderstorms obtained in 2023 at the BMKG Tarakan City for 12 months showed an average value of the ground lightning strike density of 10.02  $\text{Km}^2$ . Meanwhile, the calculation of the protection area (Ac) on the middle and side roofs is 115.883.25  $\text{Km}^2$ , with an average of 1.16 lightning strikes per year. Based on the calculation analysis, the efficiency of lightning strikes at the Rectorate Building of the University of Borneo Tarakan is 0.91%.

**Keywords**—Protection Suddat Method, University of Borneo Tarakan Dormitory Building.

**Intisari**—Bangunan tinggi merupakan salah satu objek yang kemungkinan besar memiliki resiko sambaran petir. Oleh karena itu penting untuk memproteksi bangunan tinggi dengan sistem yang handal. Penelitian ini mengevaluasi sistem penangkal petir pada Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan. Metode yang di gunakan adalah sudut proteksi. Untuk menganalisa diperoleh data pengukuran tahanan (Grounding) sebesar 35,6 $\Omega$ . Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai paralel tahanan grounding sebesar 0,67 $\Omega$ . Dengan standar SNI perhitungan tahanan grounding diperoleh sebesar 0,24 $\Omega$ . Data hasil guruh yang di peroleh pada tahun 2023 pada BMKG kota Tarakan selama 12 bulan diperoleh nilai rata-rata kerapatan sambaran petir ketanah sebesar 10,02km. Sedangkan perhitungan area proteksi (Ac) pada atap tengah dan samping diperoleh sebesar 115.883,25km dengan rata-rata sambaran petir pertahun sebesar 1,16 kali sambaran petir. Berdasarkan Analisa perhitungan diperoleh efisensi sambaran petir pada Gedung Rektorat Univerasitas Borneo Tarakan sebesar 0,91%.

**Intisari**—Metode sudut proteksi, Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan.

## I. PENDAHULUAN

Indonesia termasuk daerah tropis yang terletak di daerah katulistiwa dengan jumlah hari guruh pertahun/petir yang sangat tinggi sehingga memungkinkan banyak terjadinya bahaya dengan kerusakan yang ditimbulkan pada harta benda dan kematian pada makhluk hidup yang

ada di sekitarnya akibat sambaran petir. Sambaran petir juga dapat menimbulkan gangguan pada system tenaga listrik. Setiap peralatan yang menggunakan energi listrik atau elektronika dapat menjadi sasaran sambaran petir secara tidak langsung melalui radiasi, konduksi atau induksi elektromagnetik dari sambaran petir tersebut.

Bangunan-bangunan bertingkat menjadi objek sambaran petir karena merupakan daerah yang paling tinggi, karena sifat petir menyambar sebuah bangunan yang paling tinggi permukaannya untuk menyalurkan arusnya ke bumi untuk di netralisir. Oleh karena itu Gedung-gedung pada Universitas Borneo Tarakan yang identik dengan bangunan tinggi yang menjadi objek sambaran petir. Efek gangguan yang di timbulkan akibat sambaran petir ini semakin besar sesuai dengan semakin tingginya dan semakin luasnya areal bangunan tersebut. Salah satu cara yang ditempuh untuk melindungi bangunan tinggi dari sambaran petir adalah dengan instalasi atau pemasangan penangkal petir yang handal dan memenuhi persyaratan yang berlaku sehingga jika terjadi sambaran petir maka sarana inilah yang akan menyalurkan arus petir kedalam tanah.

Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik yang terjadi di atmosfer. Peristiwa pelepasan muatan ini terjadi karena perbedaan muatan antara awan dengan permukaan bumi. Aktivitas petir di Indonesia tergolong kedalam aktivitas petir tertinggi di Dunia yang mencapai 100-200 hari pertahun bahkan kerapatan petir-petir Indonesia juga sangat besar yaitu 12 km<sup>2</sup> pertahun, artinya petir memiliki potensi menerima sambaran petir sebanyak 12 kali tiap tahunnya sehingga dikenal dengan sarang petir dunia. Sistem proteksi eksternal adalah proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Terutama efek medan magnet dan medan listrik pada instalasi metal atau sistem listrik. Proteksi eksternal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap dampak sambaran tidak langsung, dan ekuiptensialisasi.

## II. LANDASAN TEORI

Ketentuan tentang proteksi petir diantaranya diatur pada Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL). Pada penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistemproteksi petir pada Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan Penelitian yang dibangun bertingkat sehingga berpotensi terkenasambaran petir. Agar terlindungi dari bahaya sambaran petir maka dipasang instalasi proteksi petiryang selanjutnya disebut dengan

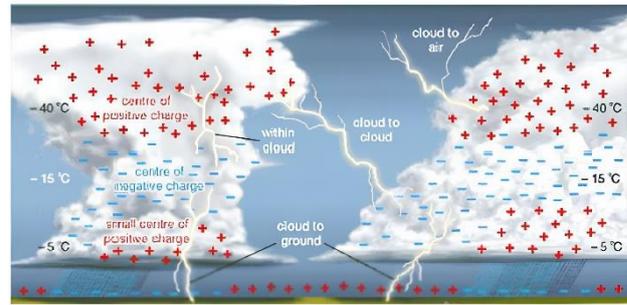
penangkal petir. Sehingga Gedung tersebut dapat terlindungi dari bahaya sambaran petir. Menurut Moh. Suardi di bukunya yang berjudul belajar dan pembelajaran halaman 205, evaluasi adalah pemberian nilai terhadap kualitas sesuatu yang secara keseluruhan dipandang sebagai proses merencanakan, memperoleh, dan menyediakan informasi yang sangat diperlukan untuk membuat alternatif-alternatif keputusan (Moh. Suardi, 2015).

Menurut Edward A. Keller (2006 : 208) menjelaskan proses terjadinya petir, yaitu mulai dari hasil kondensasi yang membentuk awan cumulus, ketika pasokan air dalam awan bertambah diimbangi suhu yang rendah membuat awan mengandung partikel-partikel es dan awan berkembang menjadi awan cumulus yang besar dan berkembang lagi menjadi awan cumulonimbus yang dapat menyebabkan hujan angin. Ketika menjadi awan cumulonimbus, partikel es yang terdapat pada awan cumulus besar saling bergesekan dan terjadi terus menerus hingga hujan turun. Gesekan yang disebabkan oleh partikel es inilah yang menyebabkan muatan listrik pada awan menjadi tidak seimbang dan hal inilah yang dapat menyebabkan petir.

Sistem penangkal petir meliputi penangkal petir eksternal dan penangkal petir internal. Penangkal petir dibuat dan mempunyai tahanan pentanahan/pembumian yang sekecil mungkin. Tujuannya adalah agar bila terjadi petir, arus dapat mengalir ke dalam tanah secara cepat dan netral. Jika nilai resistensi pembumian terlalu besar akan berdampak negatif yaitu dapat merusak benda-benda yang dilewatinya. Jadi instalasi penangkal petir harus berfungsi sempurna dan harus mempunyai nilai hambatan sekecil mungkin.

#### A. Petir

Proses terjadinya petir akibat perpindahan muatan negative (*electron*) menuju ke muatan positif (*proton*). Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*electrical Discharge*) yang terjadi di atmosfer, hal ini di karenakan berkumpulnya ion bebas bermuatan negative dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair. Ion bebas menempati permukaan awan dan bergerak mengikuti angin yang berhembus, bila awan-awan terkumpul di suatu tempat maka awan bermuatan ion tersebut akan memiliki beda potensial yang cukup untuk menyambar permukaan bumi maka inilah yang di sebut petir. Petir adalah bunga api listrik yang berukuran sangat besar menyambar awan petir yang terjadi akibat peristiwa pelepasan muatan listrik, dapat disimpulkan bahwa petir kilatan cahaya raksasa yang menghasilkan energi listrik, dimana sambaran petir bias terjadi pada awan dengan udara dengan permukaan tanah. Menurut Brian Williams (2007), pada penelitiannya petir merupakan bunga api yang berukuran sangat besar menyambar awan dan percikan di angkasa Bunga api listrik tersebut, akibat peristiwa tersebut dimana pelepasan muatan listrik pada awan ataupun bumi akibat kegagalan dielektrik pada lapisan udara.



Gambar 1. Proses terjadinya petir

#### B. Kerusakan Efek Sambaran Petir

Sambaran petir yang menyambar pada bangunan di bumi adalah percikan listrik yang mengosongkan muatan dalam waktu yang singkat hanya beberapa microsecond saja dengan arus puncak yang tinggi. Selain itu menurut Direktorat Penyelidikan masalah bangunan sambaran petir itu dapat mengakibatkan beberapa hal, yaitu :

- Beban termal (dimana menyebabkan panas pada komponen yang di aliri petir).
- Beban mekanis terjadi diakibatkan oleh gaya elektrodinamis oleh puncak tinggi.
- Beban korosi hal ini terjadi diakibatkan oleh elektrokimia yang dimana adalah proses pengosongan muatan awan.
- Beban getaran mekanis yang disebabkan oleh Guntur Beban tegangan lebih yang disebabkan oleh induksi dan pergeseran potensial di dalam Gedung.

#### C. Dampak Sambaran Petir

Dampak sambaran petir sangat berbahaya bagi mahluk hidup dan bangunan Gedung:

- MakhluK hidup

Sambaran petir yang begitu besar samapai 20 kA akan mengakibatkan sambaran petir sangat berbahaya bagi makhluK hidup. Tubuh manusia yang terkena sambaran petir akan menyebabkan shock yang menghentikan kerja jantung, serta mengakibatkan lumpuhnya jaringan otot dan mengakibatkan luka bakar.

- Gedung bangunan

Bangunan bertingkat jelas daerah yang paling rawan terkena sambaran petir karena dekat dengan awan, Efek dari sambaran petir bagi Gedung bertingkat yaitu berbahaya bagi manusia didalamnya karena menimbulkan tegangan sentuh dan dapat menyebabkan kerusakan peralatan instalasi pada Gedung yang bias mengakibatkan kebakaran.

#### D. Sistem Proteksi Petir

Berdasarkan cara kerjanya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi 2 yaitu (Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat.2020):

- Sistem dengan penangkal petir: Harus menyediakan titik pada ujung bangunan yang diamankan untuk sasaran sambaran petir, dengan harapan petir akan menyambar titik itu terlebih dahulu, Harus menyediakan saluran untuk menyalurkan arus petir ke tanah, Harus menyediakan system pembumian untuk mendistribusikan arus petir yang masuk ke tanah dengan merata agar tidak menimbulkan kerusakan

atau bahaya pada bagian dari bangunan atau bahaya pada bagian dari bangunan atau pada manusia yang sedang berada disekitarnya.

- Sistem Disipasi (*Diddipation Array System*) DAS (*Diddipation Array System*) bertujuan untuk mengundang petir agar menyambar terminasi udara yang sudah disediakan, apabila awan bermuatan bergerak ke suatu daerah, maka akan menginduksi muatan listrik diatas permukaan tanah ataupun bangunan dibawah awan tersebut.

E. Metode Jala

Metode jala ini digunakan untuk keperluan perlindungan permukaan yang datar karena bias melindungi seluruh permukaan bangunan. SPP jala diyakini melindungi seluruh permukaan jika kondisi berikut dipenuhi konduktor udara ditempatkan pada (*Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat 2020*).

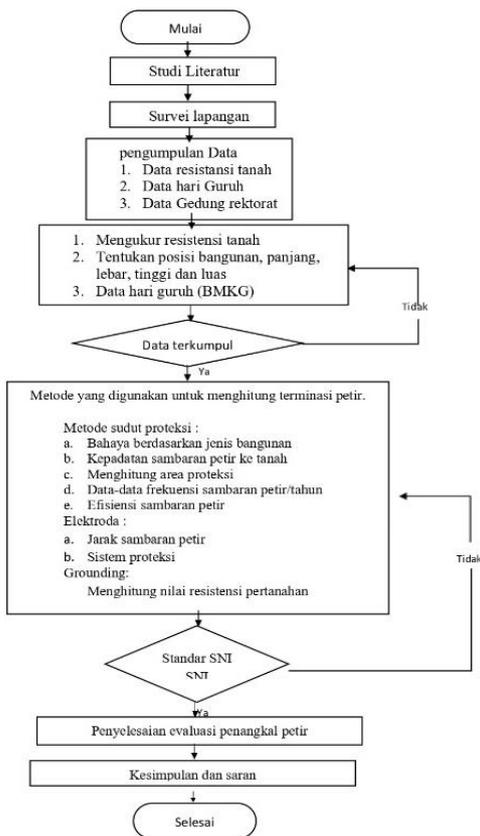
- Garis pinggir sudut atap.
- Serambi atap.
- Garis hubungan atap, jika kemiringan lebih dari 1/10.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan pada Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan. Penelitian dilaksanakan dalam kurang waktu lebih 6 bulan melakukan perancangan alat atau pun pengumpulan data dimulai dari Mei sampai dengan November 2023.

B. Flowchart penelitian



Gambar 2. Flowchart Analisa dan Pengukuran Data

C. Jenis Penelitian

Metode Sudut proteksi merupakan metode yang digunakan untuk membantu melindungi permukaan yang datar karena biasa melindungi seluruh permukaan bangunan.

D. Alat Penelitian

Dalam penelitian ini dibutuhkan bahan dan alat seperti berikut :

- *Earth* Tester adalah alat pengukur untuk mengukur nilai resistansi dari grounding, dimana besar tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pentanahan dalam system pengamanan dalam instalasi listrik.
- Elektroda Pentanahan adalah suatu konduktor yang digunakan untuk menetapkan suatu pentanahan. Sistem tenaga listrik untuk mencegah potensi bahaya listrik terhadap manusia.

E. Analisa data

Analisa data menggunakan data hasil perhitungan dari data yang di kumpulkan setelah data hasil perhitungan didapatkan selanjutnya akan di Analisa apakah sudah mencapai tujuan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Pentanahan (*Grounding*)

Jenis Tanah : 35,6 ohm (tanah liat)

Panjang Elektroda : 2 meter (elektroda batang/pasak)

Diameter Elektroda : 16 mm = 0,016 meter Perhitungan resistansi tanah

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{35,6}{2,3,14,2} \left[ \ln \left( \frac{4,2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 14,78 \Omega$$

Dengan:

R= Pertanahan (ohm)

$\rho$ = Pertanahan tanah jenis (ohm-meter)

L= Panjang elektroda batang (meter)

A= Diameter elektroda (meter)

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{R_{10}}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78}$$

$$+ \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78} + \frac{1}{14,78}$$

$$+ \frac{1}{14,78}$$

$$= 0,67 \Omega$$

Tabel I

Hasil perhitungan pentanahan lapangan

No.	Nama	Hasil
1	Jenis tanah ( $\rho$ ) tanah liat	35,6 $\Omega$
2	Panjang elektroda (L)	2meter
3	Diameter elektroda batang ( $\alpha$ )	0,016 meter
4	Hasil perhitungan	0,357 $\Omega$
5	Hasil perhitungan R Total	0,67 $\Omega$

**B. Perhitungan Menurut SNI**

Perhitungan pentanahan (*grounding*) Jenis tanah : 100 ohm (tanah liat) Panjang elektroda : 2 meter (elektroda batang/pasak) Diameter elektroda : 16 mm = 0,016 meter

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$= \frac{100}{2.3,14.2} \left[ \ln \left( \frac{4.2}{0,016} \right) - 1 \right]$$

$$= 41,51 \Omega$$

R= Pertanahan (ohm)

$\rho$ = Pertanahan tanah jenis (ohm-meter)

Ln= Logaritmus (dasar e=2.7182818)

L= Panjang elektroda batang (meter)

a= Diameter elektroda (meter)

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots \dots + \frac{1}{R_n}$$

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51}$$

$$+ \frac{1}{41,51} + \frac{1}{41,51} = 0,24 \Omega$$

Tabel II

Hasil perhitungan menurut SNI

No.	Nama	Hasil
1	Jenis tanah ( $\rho$ ) tanah liat	100 $\Omega$
2	Panjang elektroda (L)	2meter
3	Diameter elektroda batang ( $\alpha$ )	0,016 meter
4	Hasil perhitungan	41,51 $\Omega$
5	Hasil perhitungan R Total	0,24 $\Omega$

**C. Perhitungan Penangkal Petir**

Tabel III

Tabel data BMKG tahun 2023

Series	JUMLAH HARI GURUH											
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov	Des
INDEKS HARIAN	14											
	12				13							
	10					11		11				
	8			8					9			
	6						7			7		
	4	5	5									
	2			3							3	
	0											1
	Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ag	Sep	Okt	Nov

Hasil total atau nilai keseluruhan hari adalah: 83

Perhitungan penangkal petir.

Panjang gedung : 48,50 meter

Tinggi gedung : 19,11 meter

Panjang terminasi: 2,47 meter

Hari guruh : 83/ tahun

Cara menghitung indeks bahaya sambaran petir (R) PUIP 1983.

$$R = \text{indeks A} + \text{indeks B} + \text{indeks C} + \text{indeks D} + \text{indeks E}$$

$$= 3+1+3+0+5$$

$$= 12 \text{ (Sedang) / Dianjurkan pada tabel}$$

Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata  $Km^2$ /tahun (SNI 03-7015-2004, h.8).

$$N_g = 0,04 Td^{1,25} km^2/tahun$$

$$= 0,04 \cdot 83^{1,25} km^2/tahun$$

$$= 10,02 km^2/tahun$$

D. Menghitung era proteksi (Ac) atap tengah gedung REKTORAT

Tabel IV

Data gedung Rektorat

No.	Luas Area Gedung	Ukuran
1	Tinggi atap	7,83 Meter
2	Panjang terminasi	2,47Meter
3	Panjang gedung	48,50 Meter
4	Lebar gedung	30,50 Meter

No.	Luas Area Gedung	Ukuran
5	Tinggi gedung	19,11 Meter
6	Tinggi atap samping	7,83 Meter

Keterangan:

a = panjang gedung

h = tinggi atap samping dan panjang gedung

b = lebar gedung

**E. Analisis Metode Jala**

Metode jala ini hanya memerlukan satu parameter yaitu tingkat keamanan bangunan untuk menentukan batasan metodenya. Bangunan rektorat Universitas Borneo Tarakan mempunyai tingkat perlindungan dengan ukuran V. Maksimum ukuran jala yang dapat diterapkan dalam metode jala ini adalah 48,50 x 30,50 m. dimensi bangunan tersebut menunjukkan bahwa panjang atap dari bangunan tersebut adalah 29,90 m, sehingga luas jala tidak harus 48,50x 30,50 m, tetapi cukup dipasang disetiap tepi langit-langit bangunan dan adanya konduktor yang memisahkan kedua bagian tersebut. Penerapan metode ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini. Adapun garis putus-putus yang tertera pada gambar merupakan konduktor di atas atap dan konduktor di bawah.

## V. KESIMPULAN

### A. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah didapatkan dari evaluasi metode sudut proteksi petir Eksternal pada Gedung Rektorat Universitas Borneo Tarakan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

Data lapangan : 0,86 ohm

- Data hasil perhitungan :
  - a) Data perhitungan menurut data lapangan sebesar (2,801 ohm)
  - b) Data perhitungan menurut SNI sebesar (0,24 ohm)
- Data hari guruh selama 12 bulan dengan hasil perhitungan terdapat hasil 10,02 Km<sup>2</sup>/tahun.
- Indeks bahaya sambaran petir pada tabel 2.5 dengan hasil yang diperoleh sebesar (12)
- Menghitung area proteksi (Ac) pada gedung
  - a) Atap tengah 115.883,25 Km<sup>2</sup>
  - b) Atap samping 115.883,25 Km<sup>2</sup>
- Menghitung rata-rata jumlah sambaran petir pertahun
  - a) Atap tengah 1,16 sambaran petir pertahun
  - b) Atap samping 1,16 sambaran petir pertahun
- Menghitung efisiensi sambaran petir
  - a) Atap tengah gedung 0,91%
  - b) Atap samping gedung 0,91 %

### B. Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut :

- Sistem proteksi eksternal pada gedung rektorat universitas borneo tarakan yang terpasang saat ini sudah cukup baik dan bagus dengan penangkal petirnya.
- Sebaiknya melakukan pengecekan secara berkala terhadap besarnya tahanan pembumian serta melakukan perbaikan grounding apabila perbaikan grounding sudah diatas standar.

## VI. REFERENSI

- [1] Ainun, R., & Sidik, M. A. (2021). Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Aula Dan Pusat Kegiatan Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Sriwijaya. Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Aula Dan Pusat Kegiatan Mahasiswa Fakultas Ekonomi Universitas Sriwijaya, II, 116-125. J. Breckling, Ed., *The Analysis of Directional Time Series: Applications to Wind Speed and Direction*, ser. Lecture Notes in Statistics. Berlin, Germany: Springer, 1989, vol. 61.
- [2] Aprilia, H. (2022). Metode Bola Bergulir Untuk Analisa Perancangan Sistem Proteksi Petir Gedung Perkuliahan Institut Teknologi Kalimantan. SPECTA Journal Of Technology, VI, 179-180. M. Wegmuller, J. P. von der Weid, P. Oberson, and N. Gisin, "High resolution fiber distributed measurements with coherent OFDR," in *Proc. ECOC'00*, 2000, paper 11.3.4, p. 109.
- [3] Bandri, S. (2012). Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Gedung Bertingkat ( Aplikasi Balai Kota Pariman ). Perancangan Instalasi Penangkal Petir Eksternal Gedung Bertingkat, I, 12-18.
- [4] Hosea, E., Iskanto, E., & Laudan, H. M. (2004). Penerapan Metode Jala , Sudut Proteksi Dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal Yang Diaplikasikan Pada

- Gedung W Universitas Kristen Petra. Penerapan Metode Jala, Sudut Proteksi Dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal Yang Diaplikasikan Pada Gedung, IV, 1-9.
- [5] Suharnoto, Y. (2012). Evaluasi Sistem Proteksi Listrik Kantor Bupati Landak. Evaluasi Sistem Proteksi Listrik Kantor Bupati Landak, IV, 47-52.
- [6] Fathudin, A., Maruli Tua, S., & Gunawan, H. (2018, October). Evaluasi Sistem Penangkal Petir di Gedung Instalasi Radiometalurgi. In *Prosiding Seminar Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2017* (pp. 247-258). Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN-BATAN).
- [7] Karta, A., Agung, A. I., & Widyartono, M. (2020). Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 773-780.
- [8] Saragih, B., Siburian, J. M., & Purba, J. L. (2020). Sistem Penangkal Petir Pada Gedung Kemang Gallery Medan. *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, 9(1), 44-61.