

Analysis Performance of Lightning Arrester in Tomohon Switchyard

Analisa Unjuk Kerja Lightning Arrester yang Ditempatkan di Gardu Induk Tomohon

Gabriel I. Garang¹, Lily S. Patras², Glanny M. Ch. Mangindaan³

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : gabrielgarang023@student.unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract — Tomohon switchyard is inseparable from disturbances that can cause failure or damage to the equipment installed in it. A tool is needed to protect in the event of a disturbance in the form of lightning surges or surges, namely lightning arrester. This study aims to analyse the performance of lightning arresters placed in Tomohon switchyard. The focuses of the research are leakage current resistance, insulation resistance and grounding resistance. The goal expected is to increase knowledge in the field of protection systems in switchyard using lightning arresters, so that it can be a reference for further research. From the analysis performance of lightning arresters, the highest results obtained from measuring the leakage current percentage resistance for bay line 1 Tasikria = 4.62%, bay line 2 Tasikria = 4.15% and bay line 2 Teling = 4.02%. The results of measuring insulation resistance for bay line Tasikria and bay line Teling = 223 GΩ, and the results of measuring grounding resistance = <1 Ω. From the obtained results of the leakage current percentage resistance measurement, insulation resistance measurement and grounding resistance measurement, the results are below accordance to the specified standards. Therefore, the performance of lightning arresters placed in Tomohon switchyard especially for Tasikria bay line and Teling bay line are in good condition.

Key words — Lighting Arrester Performance, Leakage Current, Insulation Resistance, Grounding Resistance.

Abstrak — Gardu induk Tomohon tidak terlepas dari adanya gangguan yang dapat mengakibatkan kegagalan atau kerusakan pada peralatan yang terpasang di dalamnya. Dibutuhkan alat untuk memproteksi apabila terjadi gangguan berupa surja petir atau surja hubung. Alat tersebut adalah lightning arrester. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa unjuk kerja lightning arrester yang ditempatkan di gardu induk Tomohon. Fokus penelitian yaitu tahanan arus bocor, tahanan isolasi dan tahanan grounding. Fokus tersebut diharapkan dapat menambah pengetahuan pada bidang sistem proteksi yang ada dalam gardu induk menggunakan lightning arrester, sehingga dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya. Dalam menganalisa unjuk kerja lightning arrester didapatkan hasil tertinggi dari pengukuran tahanan presentase arus bocor untuk bay line 1 Tasikria = 4.62 %, bay line 2 Tasikria = 4.15 % dan bay line 2 Teling = 4.02 %, hasil pengukuran tahanan isolasi untuk bay line Tasikria dan bay line Teling = 223 GΩ, dan hasil pengukuran tahanan grounding = < 1 Ω. Dari hasil pengukuran tahanan presentase arus bocor, pengukuran tahanan isolasi dan pengukuran tahanan grounding didapatkan bawah hasilnya sesuai dengan standart yang ditentukan. Oleh sebab itu, unjuk kerja lightning arrester yang ditempatkan di gardu induk

Tomohon khususnya untuk bay line Tasikria dan bay line Teling dalam kondisi yang baik.

Kata kunci — Unjuk Kerja Lightning Arrester, Arus Bocor, Tahanan Isolasi, Tahanan Grounding.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik telah menjadi salah satu keperluan penting dalam kehidupan manusia. Energi listrik yang disalurkan ke konsumen diperlukan unjuk kerja yang baik agar dalam penyaluran energi listrik tidak terjadi gangguan karena dapat menyebabkan kerugian pada sistem transmisi dan gardu induk. Gangguan seperti tegangan lebih (*over voltage*) adalah gangguan yang terjadi akibat adanya surja petir dan surja hubung. Surja petir dan surja hubung adalah dua jenis lonjakan tegangan listrik yang dapat terjadi dalam sistem. Tegangan berlebih (*over voltage*) ini hanya dapat bertahan dalam waktu yang sangat terbatas. Apabila tegangan berlebih ini melebihi kapasitas daya tahan peralatan dalam waktu yang lama, maka dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang terhubung dalam jaringan yang terkena dampak tegangan tersebut. Ketika terjadi sambaran surja petir pada kawat penghantar di saluran transmisi, peristiwa ini dapat menyebabkan munculnya gelombang petir yang merambat menuju peralatan yang terletak di gardu induk. Besar kekuatan gelombang tersebut bisa cukup tinggi sehingga dapat menggagalkan isolasi peralatan, bahkan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan yang terpasang di gardu induk [1]. Dalam sistem tenaga listrik dibutuhkan suatu peralatan proteksi yang berfungsi untuk melindungi apabila terjadi gangguan tegangan lebih (*over voltage*) akibat surja petir atau surja hubung. Peralatan tersebut adalah lightning arrester. Adapun kemampuan lightning arrester yaitu berfungsi sebagai perangkap atau pengambil muatan listrik yang ada dalam peristiwa surja petir. Tegangan yang berhasil diambil kemudian dialirkan ke dalam tanah (*ground*). Jika lightning arrester tidak bekerja dengan baik maka dapat merusak peralatan yang ada pada sistem transmisi dan gardu induk [2].

A. Penelitian Terkait

Menurut Utomo (2014) Flashover adalah kejadian di mana isolator tidak mampu memisahkan konduktor bertenaga dari konduktor line, sehingga terjadi aliran arus yang bocor melalui udara di sekitar permukaan penangkal petir. Pada saat terjadi

hujan, resistansi pada permukaan penangkal petir akan mengalami penurunan. Penurunan resistansi ini disebabkan oleh adanya lapisan air hujan yang menutupi permukaan penangkal petir, yang pada gilirannya mengakibatkan resistansi penangkal petir semakin rendah. Penurunan resistansi yang signifikan ini dapat menyebabkan terjadinya arus kebocoran (leakage current) pada permukaan penangkal petir. Akibatnya, dalam jangka waktu tertentu, dapat terjadi tegangan flashover pada penangkal petir [3].

B. Gardu Induk

Gardu induk adalah komponen integral dari sistem tenaga listrik yang berlokasi di pusat tertentu yang mencakup saluran transmisi, saluran distribusi, peralatan hubungan, transformator, peralatan pengaman, peralatan pengendalian, dan merupakan elemen kunci dalam proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen [4]. Gardu Induk memiliki peran utama dalam mengalirkan tenaga listrik dari pembangkit ke jaringan distribusi atau pelanggan. Selain itu, gardu induk juga memiliki fungsi penting dalam mengatur tegangan listrik, baik menaikkan maupun menurunkannya. Gardu Induk juga berfungsi sebagai titik penerimaan dan distribusi tenaga listrik yang melibatkan tegangan ekstra tinggi sebesar 500 KV, tegangan tinggi 150 KV, dan 70 KV.

C. Lighting Arrester Sebagai Peralatan Proteksi

Lightning arrester adalah peralatan yang dibuat khusus untuk menjaga peralatan listrik yang ada dalam sistem tenaga listrik dari efek tegangan lonjakan, baik itu disebabkan oleh lonjakan dalam saluran listrik maupun lonjakan yang disebabkan oleh petir. Penangkal petir berfungsi dengan membatasi tingkat tegangan berlebih yang masuk ke dalam sistem dan mengarahkannya ke tanah. Selain itu, penangkal petir juga harus mampu melakukan pemantauan arus yang menuju ke tanah tanpa mengalami kerusakan [5]. Arrester juga adalah alat untuk memproteksi apabila terjadi gangguan surja hubung dan surja petir untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. *Lightning arrester* juga harus bertindak sebagai isolator, menghantarkan beberapa miliampere arus bocor ke bumi dalam sistem tegangan listrik dan menjadi konduktor selama operasi, menghantarkan ribuan ampere arus impuls ke bumi, memiliki tegangan di bawah tegangan penahan [6].

1) Prinsip Kerja Lightning Arrester

Prinsip kerja dari *lightning arrester* adalah dengan membentuk jalur yang memungkinkan petir untuk mengalir melalui sirkuit penangkal petir, sehingga tidak ada lonjakan tegangan yang tinggi yang terjadi pada peralatan listrik. Pada keadaan normal, penangkal petir berfungsi sebagai isolator, tidak memungkinkan aliran arus listrik. Tetapi ketika terjadi surja listrik, penangkal petir berperan sebagai konduktor yang bertugas mengalirkan arus yang tinggi menuju ke tanah. Setelah arus surja hilang, penangkal petir harus segera kembali ke kondisi normal atau berfungsi lagi sebagai isolator. Penangkal petir terdiri dari dua komponen utama, yaitu sela api (spark gap) dan tahanan kran (valve resistor) [7].

2) Jenis-jenis Lightning Arrester

Berdasarkan jenisnya, lightning arrester terbagi menjadi 2 jenis yaitu [8]:

a) Arrester Jenis Ekspulsi

Dipergunakan untuk sistem tenaga listrik dengan tegangan hingga mencapai 33 kV. Arrester ini terdiri dari dua sela yang dihubungkan secara selaras, yakni sela luar dan sela dalam. Sela dalam ini dipasang di dalam tabung serat (Fiber), dan elektroda sela dalam yang dibumikan dibuat berbentuk pipa. Keberadaan dua pasang elektroda ini memungkinkan arrester untuk menangani tegangan tinggi frekuensi daya tanpa menimbulkan korona dan aliran arus yang bocor ke tanah. Selain itu, tegangan tembus sela luar dibuat lebih rendah daripada tegangan lompatan api isolator pendukung sela luar.

b) Arrester Jenis Katub

Berdasarkan jenis katubnya arrester terbagi menjadi beberapa bagian:

- Arrester Katub Sela Tidak Aktif
- Arrester Katub Sela Aktif
- Arrester Katub Tanpa Sela Percikan
- Arrester Katub Kategori Gardu
- Arrester Katub Kategori Saluran
- Arrester Jenis Gardu Untuk Peralatan Mesin
- Arrester Katub Jenis Distribusi yang ditujukan untuk peralatan mesin

3) Pemilihan Lightning Arrester

Adapun dalam pemilihan lightning arrester ada beberapa factor yang harus diperhatikan yaitu [9]:

- Kemampuan isolasi dari arrester
- Arrester mempunyai karakteristik impuls.
- Tegangan sistem yang digunakan, dalam Tegangan puncak yang muncul pada terminal arrester.
- Arus singkat yang terjadi pada arrester
- Jenis arrester yang sering dipakai yaitu arrester jenis gardu, saluran, atau jenis penyaluran.
- Faktor kondisi luar dari arrester normal atau tidak normal. Temperatur dan kelembaban dan juga seperti kotoran.
- Membandingkan antara ongkos pemeliharaan dan kerusakan pada arrester, yang dipasang arrester yang cukup rendah mutunya adalah faktor dari ekonomi.
- Arrester jenis gardu menggunakan tegangan 69 KV, sedangkan untuk tegangan antara 23 kV hingga 69 kV, penggunaan tergantung pada pertimbangan ekonomi.

4) Perkembangan Lightning Arrester

Dalam konteks perkembangan penangkal petir, teknologinya telah mengalami evolusi sejak kurang lebih seabad yang lalu, seiring dengan dimulainya penggunaan listrik secara massal. Secara singkat, sejarah perkembangan penangkal petir dapat dirangkum sebagai berikut [10]:

- Tahun 1892 - 1908: Penggunaan celah udara (Air Gaps)
- Tahun 1908 - 1930: Penggunaan beberapa celah dengan resistor (Multiple gaps dengan resistor)
- Tahun 1920 - 1930: Penggunaan Lead Oxide dengan resistor

- Tahun 1930 - 1960: Penggunaan Silicon Carbide dengan celah pasif (Passive Gapped Silicon Carbide - SiC)
- Tahun 1960 - 1982: Penggunaan Silicon Carbide dengan celah aktif (Active Gapped Silicon Carbide - SiC)
- Tahun 1976 - sekarang: Penggunaan Zinc Oxide (ZnO) tanpa celah

Keping ZnO memiliki karakteristik kerja (dalam bentuk kurva V-I) yang secara signifikan lebih unggul daripada generasi sebelumnya yang menggunakan SiC dengan sela (gap) secara berurutan. Mayoritas penangkal petir dalam sistem transmisi PLN telah beralih ke teknologi keping ZnO tanpa sela, yang juga dikenal dengan sebutan MOSA (Metal Oxide Surge Arresters). Di beberapa lokasi di Indonesia, MOSA dengan pelindung berbahan polymer sudah mulai diterapkan.

5) Karakteristik Lightning Arrester

Karakteristik lightning arrester adalah sebagai berikut [11]:

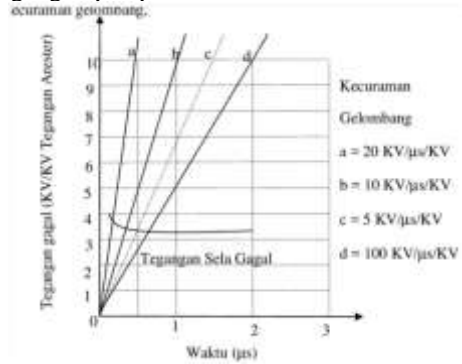
- a. Lightning arrester memiliki tegangan dasar (rated) sebesar 50 c/s yang harus dipatuhi, dan nilainya tidak boleh melebihi tegangan ini baik saat penggunaan normal maupun saat terjadi hubungan singkat..
- b. Lightning arrester ini akan memberikan perlindungan saat terdapat perbedaan (margin) yang memadai antara tingkat penangkal petir dengan peralatan yang ada. Daerah perlindungan harus memiliki cakupan yang mencukupi untuk melindungi semua peralatan di gardu yang memiliki Basic Insulation Level (BIL) yang sama dengan BIL yang harus dilindungi oleh penangkal petir, atau bahkan lebih tinggi dari area perlindungan tersebut.
- c. Lightning arrester memiliki karakteristik yang terbatas oleh tegangan (voltage limiting) ketika terkena berbagai jenis arus petir..
- d. Lightning arrester memiliki batas termis yang memungkinkan untuk mengalirkan arus yang besar yang berasal dari energi yang tersimpan dalam saluran yang memiliki panjang tertentu..

Berdasarkan hal di atas, untuk meminimalkan tekanan pada isolasi, sistem perlindungan tegangan berlebih harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

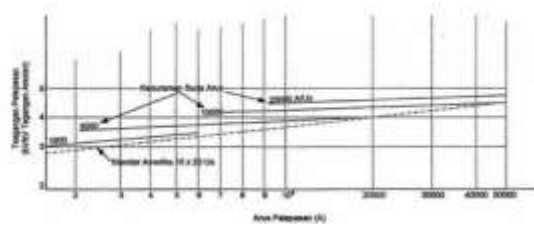
- a. Harus mampu mengalirkan tegangan berlebih ke tanah tanpa menyebabkan hubungan singkat ke tanah (saturated ground fault).
- b. Harus bisa memutuskan arus yang berkelanjutan.
- c. Harus memiliki tingkat perlindungan (protection level) yang rendah, yang berarti bahwa tegangan percikan di sela-sela dan tegangan pelepasannya harus rendah.

Karakteristik perlindungan dari penangkal petir telah mengalami perubahan, dengan perubahan yang paling mencolok adalah bahwa tegangan gagal sela dan tegangan pelepasan maksimumnya kini terkait dengan tegangan dasar untuk jenis surja tertentu. Gambar 2.1 menggambarkan bagaimana tegangan gagal sela bervariasi seiring dengan kemiringan gelombang, sementara Gambar 2.2 menjelaskan bagaimana tegangan pelepasan berubah seiring dengan ukuran dan laju kenaikan arus surja. Dari kedua gambar tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakteristik perlindungan dapat diperkirakan untuk berbagai tingkat tegangan dasar pada

penangkal petir, baik dalam bentuk tegangan gagal sela maupun tegangan pelepasan.

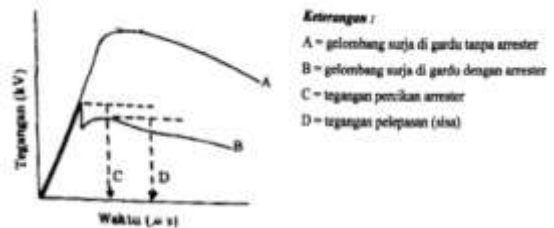


Gambar 2. 1 Karakteristik tegangan gagal sela arrester [11]



Gambar 2. 2 Grafik tegangan pelepasan dari arrester [11]

Pengaruh penangkal petir terhadap suatu lonjakan tegangan lebih dapat dilihat secara jelas pada Gambar 2.3. Efektivitas perlindungan secara signifikan ditentukan oleh tegangan pelepasan. Tegangan percikan yang mungkin lebih tinggi pada impuls yang sangat curam dianggap kurang signifikan karena durasi yang sangat singkat sebelum terjadinya kegagalan.



Gambar 2. 3 Pengaruh arrester terhadap surja tegangan [11]

6) Gangguan Lightning Arrester

Adapun gangguan yang terjadi pada lightning arrester adalah sebagai berikut [12]:

a) Surja Petir

Surja petir merupakan fenomena pelepasan muatan yang terjadi di antara awan, dalam awan, atau antara awan dengan permukaan tanah. Dalam konteks ini, awan memiliki muatan positif dan muatan negatif, dan interaksi antara kedua muatan ini dapat menyebabkan peristiwa tarik-menarik yang menghasilkan kilat di dalam awan. Hal yang sama terjadi ketika muatan negatif dan muatan negatif mendekati satu sama lain, yang juga bisa mengakibatkan tolak-menolak dan bahkan ledakan atau kilat di dalam awan. Tanah adalah tempat yang menyimpan muatan positif maupun negatif, dan jika pelepasan muatan petir terjadi dekat dengan permukaan tanah, ini dapat menghasilkan sambaran petir yang menuju ke tanah. Jika petir langsung mengenai penghantar, kemungkinan besar penghantar tersebut akan terputus karena gelombang petir tersebut menciptakan tegangan impuls yang melebihi tingkat isolasi dasar (Basic Insulation Level atau BIL) dari penghantar

tersebut. Namun, jika petir tidak langsung mengenai penghantar tetapi terjadi akibat induksi dari petir, maka gelombang petir tersebut akan menyebar ke berbagai arah melalui jaringan yang menuju titik tertentu yang dapat menetralkan arus petir tersebut, yaitu melalui sistem pentanahan.

b) Surja Hubung

Surja hubung adalah peristiwa yang terjadi karena operasi penutupan atau pembukaan saklar, yang dapat mengakibatkan hubung singkat. Hubung singkat adalah keadaan di mana penghantar yang bertegangan atau yang tidak bertegangan terhubung secara langsung, tanpa melalui perantara media, sehingga menyebabkan aliran arus yang tidak normal atau sangat besar.

D. Pemeliharaan Lightning Arrester

Lightning arrester adalah peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik line dari tegangan surja, termasuk surja hubung dan surja petir. Surja dapat merambat dalam konduktor dalam beberapa situasi berikut: [9]:

- Kegagalan sudut perlindungan petir, yang menyebabkan petir mengalir dalam konduktor fasa.
- Backflashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di gardu induk maupun di saluran transmisi.
- Proses switching CB/DS yang dapat menghasilkan surja hubung.
- Gangguan pada fasa-fasa atau fasa-tanah, baik di saluran transmisi maupun di gardu induk.

1) Jenis-jenis pemeliharaan lightning arrester

Pemeliharaan lightning arrester dalam buku ini merupakan tindakan proaktif yang bertujuan untuk mencegah kegagalan peralatan. Kegiatan pemeliharaan yang bersifat reaktif, seperti perbaikan setelah terjadinya gangguan, tidak dibahas dalam buku ini. Pemeliharaan proaktif dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pemeliharaan preventif dan pemeliharaan prediktif. Pemeliharaan preventif juga dikenal sebagai Time Based Maintenance (TBM), di mana pemeliharaan dilakukan secara berkala tanpa mempertimbangkan apakah peralatan membutuhkan pemeliharaan atau tidak. Dalam pemeliharaan preventif, terdapat dua jenis kegiatan, yaitu pemulihan terjadwal (Scheduled restoration) dan penggantian terjadwal (Scheduled discard).

Adapun jenis-jenis pemeliharaan arrester adalah sebagai berikut:

- Pengukuran Arus Bocor/Leakage Current
- Pengukuran Tahanan Isolasi (Megger Test)

2) Pengukuran Lightning Arrester

- Presentase Arus Bocor

Untuk Mengetahui presentase arus bocor pada lightning arrester dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\% = \frac{n}{N} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Keterangan:

n= Nilai Korektif Arus Bocor (μA)

N= Batas Arus Bocor Pabrikasi (μA)

- Nilai Tahanan Isolasi

Untuk mengetahui hasil pengukuran nilai tahanan isolasi dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$R = \frac{(1000.U)}{Q} . U . 2,5 \quad (2.2)$$

Keterangan:

R=Tahanan Isolasi Minimum

U=Tegangan Kerja

Q=Tegangan Megger

1000=Konstanta tetap

2,5=Faktor keamanan

E. Arus Bocor

Arus bocor merupakan aliran arus yang mengalir ketika isolator pada lightning arrester tidak sesuai dengan persyaratan yang dibutuhkan, baik itu untuk peralatan maupun tanah atau ground. Awal dari terjadinya arus bocor adalah adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator. Permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang tinggi dalam keadaan bersih. Kontaminasi pada permukaan isolator menjadi penyebab utama terjadinya arus bocor. Arus bocor pada permukaan isolator terjadi karena penurunan nilai tahanan pada permukaan tersebut. Apabila tegangan yang harus dihadapi oleh isolator melebihi kapasitasnya, maka arus akan mengalir pada permukaan isolator tersebut. Arus ini dikenal sebagai arus bocor atau arus rambat. Terjadinya arus bocor pada permukaan bahan isolasi dari isolator pasang luar sangat dipengaruhi oleh kondisi polutan, suhu, dan kondisi cuaca yang dapat menyebabkan kontaminasi pada permukaan isolator tersebut [14]. Jumlah aliran arus bocor pada arrester dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk tegangan sistem dan peningkatan suhu. Peningkatan suhu dapat mengakibatkan degradasi pada varistor ZnO, yang pada gilirannya menyebabkan tahanan lightning arrester semakin menurun dan arus bocor menjadi lebih besar [15].

F. Tahanan Isolasi

Pengukuran resistensi dilakukan di antara dua kawat saluran yang memiliki isolasi atau antara satu kawat dengan tanah. Bertujuan untuk mengevaluasi keadaan tahanan isolasi arrester, apakah masih berada dalam kondisi baik atau perlu perbaikan. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat Megger berdaya 5000 volt [15].

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Umum

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Tomohon dimana yang menjadi objek penelitian adalah Lightning Arrester yang berfungsi sebagai peralatan proteksi apabila terjadi gangguan petir. Di Gardu Induk Tomohon Ini adalah gardu induk yang menyelenggarakan dua sistem tegangan berbeda, yakni sistem 70 kV dan sistem 150 kV. Gardu ini memiliki peran penting dalam menghubungkan kedua sistem tegangan ini dalam rangka sistem tenaga Minahasa, karena dilengkapi dengan trafo.

Berikut di bawah ini adalah tabel data spesifikasi lightning arrester yang diperoleh dari PLN:

TABEL 2. 1 DATA SPESIFIKASI LA

| Nama Gardu | Kode | Nama Bay | Merk | Tipe | Tahun |
|------------|--------|-----------------|---------|-------------------------|-------|
| GI Tomohon | SM 3.8 | Line 1 Tasikria | SIEMENS | 3EL1 | 2018 |
| | | | | 072- PK21- 4XA1-Z | |
| | | | | 3EL1 | |
| GI Tomohon | SM 3.9 | Line 2 Tasikria | SIEMENS | 072- PK21- 4XA1-Z | 2018 |
| | | | | 3EL1 | |
| | | | | 072- PK21- 4XA1-Z | |
| GI Tomohon | SM 3.1 | Line 2 Teling | SIEMENS | 3EL1 | 2018 |
| | | | | 072- PK21- 4XA1-Z | |
| | | | | 3EL1 | |

Berikut di bawah ini adalah tabel data operasi LA yang diperoleh dari PLN.

TABEL 2. 2 DATA OPERASI LA

| Merk | Tipe | Tahun Buat | Rated (kV) | Current (kA) |
|---------|------------------------------|------------|------------|--------------|
| SIEMENS | 3EL1 072- PK21- 4XA1-Z | 2018 | 72 | 10 |
| SIEMENS | 3EL1 072- PK21- 4XA1-Z | 2018 | 72 | 10 |
| SIEMENS | 3EL1 072- PK21- 4XA1-Z | 2018 | 72 | 10 |

B. Data Pemeliharaan

Berikut di bawah ini merupakan data LCM (Leakage Current Measurement) dan data hasil pemeliharaan peralatan lightning arrester yang terpasang di Gardu Induk Tomohon.

Berikut di bawah ini adalah tabel data LCM untuk bay line 1 Tasik Ria.

TABEL 2. 3 DATA LCM LINE 1 TASIK RIA

| Bay | Phase | Merk | Rated Voltage (kV) | MCOV (kV) | Corrected Resistive Current (µA) |
|------------------|----------|---------|--------------------|-----------|----------------------------------|
| Line 1 Tasik Ria | R | Siemens | 72.0 | 58.0 | 39.4 |
| | Belakang | | | | 46.2 |
| | R Depan | | | | 41.1 |
| | R Kanan | | | | 39.7 |
| | R Kiri | | | | 15.9 |
| | S | | | | 22.6 |
| | Belakang | | | | 16.8 |
| | S Depan | | | | 12.3 |
| | S Kanan | | | | 31 |
| | S Kiri | | | | 42.5 |
| | T | | | | 38.4 |
| | Belakang | | | | 38.9 |

Berikut di bawah ini adalah tabel data LCM untuk bay line 2 Tasik Ria:

TABEL 2. 4 DATA LCM LINE 2 TASIK RIA

| Bay | Phase | Merk | Rated Voltage (kV) | MCOV (kV) | Corrected Resistive Current (µA) |
|------------------|----------|---------|--------------------|-----------|----------------------------------|
| Line 2 Tasik Ria | R | Siemens | 72.0 | 58.0 | 19.7 |
| | Belakang | | | | 25.9 |
| | R Depan | | | | 36.6 |
| | R Kanan | | | | 31.2 |
| | R Kiri | | | | 18.1 |
| | S | | | | 24 |
| | Belakang | | | | 13.8 |
| | S Depan | | | | 24.4 |
| | S Kanan | | | | 24.8 |
| | S Kiri | | | | 36.9 |
| | T | | | | 41.5 |
| | Belakang | | | | 40.8 |

Berikut di bawah ini merupakan tabel data LCM untuk bay liine 2 Teling.

TABEL 2. 5 DATA LCM LINE 2 TELING

| Bay | Phase | Merk | Rated Voltage (kV) | MCOV (kV) | Corrected Resistive Current (µA) |
|---------------|----------|---------|--------------------|-----------|----------------------------------|
| Line 2 Teling | R | Siemens | 72.0 | 58.0 | 38 |
| | Belakang | | | | 36.3 |
| | R Depan | | | | 29.8 |
| | R Kanan | | | | 25.9 |
| | R Kiri | | | | 19.6 |
| | S | | | | 40.2 |
| | Belakang | | | | 25.4 |
| | S Depan | | | | 15.8 |
| | S Kanan | | | | 23.5 |
| | S Kiri | | | | 31 |
| | T | | | | 24.5 |
| | Belakang | | | | 27.6 |

Berikut di bawah ini merupakan tabel data hasil pemeliharaan lightning arrester yang terpasang di gardu induk Tomohon.

TABEL 2. 6 DATA HASIL PEMELIHARAAN LA DI GARDU IDUK TOMOHON

| ULTG | Teg | Bay | Merk | Type | Fasa | Tahun Buat | Tanggal Pengujian | Tahanan Isolasi | GN D |
|--------|-----|-----------------|---------|-----------------------|------|------------|-------------------|-----------------|------|
| Lopana | 70 | Line 1 Tasikria | Siemens | 3EL107-2-1PK21-4XA1-2 | R | 2018 | 21/01/21 | 80000 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 1 Tasikria | Siemens | 3EL107-2-1PK21-4XA1-2 | S | 2018 | 21/01/21 | 74000 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 1 Tasikria | Siemens | 3EL107-2-1PK21-4XA1-2 | T | 2018 | 21/01/21 | 45500 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Tasikria | Siemens | 3EL1 | R | 2010 | 17/01/22 | 23200 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Tasikria | Siemens | 3EL1 | S | 2010 | 17/01/22 | 29300 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Tasikria | Siemens | 3EL1 | T | 2010 | 17/01/22 | 33400 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Teling | Siemens | 3EL1-072-1PK21-4XA | R | 2018 | 14/03/22 | 210000 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Teling | Siemens | 3EL1-072-1PK21-4XA | S | 2018 | 14/03/22 | 132700 | <1 |
| Lopana | 70 | Line 2 Teling | Siemens | 3EL1-072-1PK21-4XA | T | 2018 | 14/03/22 | 89000 | <1 |

C. Pengukuran

Berikut di bawah ini adalah pengukuran presentase arus bocor, tahanan isolasi:

1) Presentase Arus Bocor

Untuk mengukur presentase arus bocor dapat menggunakan persamaan (2.1).

a) Line 1 Tasik Ria

- Fasa R (Belakang)

$$\frac{394}{100} \times 100 \% = 3.94 \times 100 \% = 3.94 \%$$

- Fasa R (Depan)

$$\frac{462}{100} \times 100 \% = 4.62 \times 100 \% = 4.62 \%$$

- Fasa R (Kanan)

$$\frac{411}{100} \times 100 \% = 4.11 \times 100 \% = 4.11 \%$$

- Fasa R (Kiri)

$$\frac{397}{100} \times 100 \% = 3.97 \times 100 \% = 3.97 \%$$

- Fasa S (Belakang)

$$\frac{159}{100} \times 100 \% = 1.59 \times 100 \% = 1.59 \%$$

- Fasa S (Depan)

$$\frac{226}{100} \times 100 \% = 2.26 \times 100 \% = 2.26 \%$$

- Fasa S (Kanan)

$$\frac{168}{100} \times 100 \% = 1.68 \times 100 \% = 1.68 \%$$

- Fasa S (Kiri)

$$\frac{123}{100} \times 100 \% = 1.23 \times 100 \% = 1.23 \%$$

- Fasa T (Belakang)

$$\frac{31}{100} \times 100 \% = 0.31 \times 100 \% = 0.31 \%$$

- Fasa T (Depan)

$$\frac{425}{100} \times 100 \% = 4.25 \times 100 \% = 4.25 \%$$

- Fasa T (Kanan)

$$\frac{384}{100} \times 100 \% = 3.84 \times 100 \% = 3.84 \%$$

- Fasa T (Kiri)

$$\frac{389}{100} \times 100 \% = 3.89 \times 100 \% = 3.89 \%$$

b) Line 2 Tasik Ria

- Fasa R (Belakang)

$$\frac{197}{100} \times 100 \% = 1.97 \times 100 \% = 1.97 \%$$

- Fasa R (Depan)

$$\frac{259}{100} \times 100 \% = 2.59 \times 100 \% = 2.59 \%$$

- Fasa R (Kanan)

$$\frac{363}{100} \times 100 \% = 3.63 \times 100 \% = 3.63 \%$$

- Fasa R (Kiri)

$$\frac{312}{100} \times 100 \% = 3.12 \times 100 \% = 3.12 \%$$

- Fasa S (Belakang)

$$\frac{183}{100} \times 100 \% = 1.83 \times 100 \% = 1.83 \%$$
- Fasa S (Depan)

$$\frac{24}{100} \times 100 \% = 0.24 \times 100 \% = 0.24 \%$$
- Fasa S (Kanan)

$$\frac{138}{100} \times 100 \% = 1.38 \times 100 \% = 1.38 \%$$
- Fasa S (Kiri)

$$\frac{244}{100} \times 100 \% = 2.44 \times 100 \% = 2.44 \%$$
- Fasa T (Belakang)

$$\frac{248}{100} \times 100 \% = 2.48 \times 100 \% = 2.48 \%$$
- Fasa T (Depan)

$$\frac{369}{100} \times 100 \% = 3.69 \times 100 \% = 3.69 \%$$
- Fasa T (Kanan)

$$\frac{415}{100} \times 100 \% = 4.15 \times 100 \% = 4.15 \%$$
- Fasa T (Kiri)

$$\frac{408}{100} \times 100 \% = 4.08 \times 100 \% = 4.08 \%$$
- c) *Line 2 Teling*
 - Fasa R (Belakang)

$$\frac{38}{100} \times 100 \% = 0.38 \times 100 \% = 0.38 \%$$
 - Fasa R (Depan)

$$\frac{363}{100} \times 100 \% = 3.63 \times 100 \% = 3.63 \%$$
 - Fasa R (Kanan)

$$\frac{298}{100} \times 100 \% = 2.98 \times 100 \% = 2.98 \%$$
 - Fasa R (Kiri)

$$\frac{259}{100} \times 100 \% = 2.59 \times 100 \% = 2.59 \%$$
 - Fasa S (Belakang)

$$\frac{198}{100} \times 100 \% = 1.98 \times 100 \% = 1.98 \%$$
- Fasa S (Depan)

$$\frac{402}{100} \times 100 \% = 4.02 \times 100 \% = 4.02 \%$$
- Fasa S (Kanan)

$$\frac{254}{100} \times 100 \% = 2.54 \times 100 \% = 2.54 \%$$
- Fasa S (Kiri)

$$\frac{158}{100} \times 100 \% = 1.58 \times 100 \% = 1.58 \%$$
- Fasa T (Belakang)

$$\frac{235}{100} \times 100 \% = 2.35 \times 100 \% = 2.35 \%$$
- Fasa T (Depan)

$$\frac{31}{100} \times 100 \% = 0.31 \times 100 \% = 0.31 \%$$
- Fasa T (Kanan)

$$\frac{245}{100} \times 100 \% = 2.45 \times 100 \% = 2.45 \%$$
- Fasa T (Kiri)

$$\frac{276}{100} \times 100 \% = 2.76 \times 100 \% = 2.76 \%$$

2) *Nilai Tahanan Isolasi*

Untuk pengukuran nilai tahanan isolasi menggunakan persamaan (2.2).

$$R = \frac{(1000.72)}{58} . 72.2,5$$

$$R = \frac{72.000}{58} . 72.2,5$$

$$R = 89,397.2,5$$

$$R = 223,447 \text{ M}\Omega \rightarrow 223 \text{ G}\Omega$$

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Pengukuran

Berikut di bawah ini adalah tabel daripada hasil pengukuran presentase arus bocor dan nilai tahanan isolasi.

1) Presentase Arus Bocor

Di bawah ini adalah tabel hasil pengukuran presentase arus bocor bay line 1 Tasik Ria.

TABEL 3. 1 HASIL PENGUKURAN LINE 1 TASIK RIA

| Bay | Fasa | Hasil Perhitungan |
|-----------------|--------------|-------------------|
| Line 1 Tasikria | R (Belakang) | 3.94 % |
| | R (Depan) | 4.62 % |
| | R (Kanan) | 4.11 % |
| | R (Kiri) | 3.97 % |
| | S (Belakang) | 1.59 % |
| | S (Depan) | 2.26 % |
| | S (Kanan) | 1.68 % |
| | S (Kiri) | 1.23 % |
| | T (Belakang) | 0.31 % |
| | T (Depan) | 4.25 % |
| | T (Kanan) | 3.84 % |
| T (Kiri) | 3.89 % | |

Di bawah ini adalah tabel hasil pengukuran presentase arus bocor bay line 2 Tasik Ria.

TABEL 3. 2 HASIL PENGUKURAN LINE 2 TASIK RIA

| Bay | Fasa | Hasil Perhitungan |
|-----------------|--------------|-------------------|
| Line 2 Tasikria | R (Belakang) | 1.97 % |
| | R (Depan) | 2.58 % |
| | R (Kanan) | 3.63 % |
| | R (Kiri) | 3.12 % |
| | S (Belakang) | 1.83 % |
| | S (Depan) | 0.24 % |
| | S (Kanan) | 1.38 % |
| | S (Kiri) | 2.44 % |
| | T (Belakang) | 2.48 % |
| | T (Depan) | 3.69 % |
| | T (Kanan) | 4.15 % |
| T (Kiri) | 4.08 % | |

Berikut di bawah ini adalah tabel hasil pengukuran presentase arus bocor line 2 Teling.

TABEL 3. 3 HASIL PENGUKURAN LINE 2 TELING

| Bay | Fasa | Hasil Perhitungan |
|---------------|--------------|-------------------|
| Line 2 Teling | R (Belakang) | 0.38 % |
| | R (Depan) | 3.63 % |
| | R (Kanan) | 2.98 % |
| | R (Kiri) | 2.59 % |
| | S (Belakang) | 1.98 % |
| | S (Depan) | 4.02 % |
| | S (Kanan) | 2.54 % |
| | S (Kiri) | 1.58 % |
| | T (Belakang) | 2.35 % |
| | T (Depan) | 0.31 % |
| | T (Kanan) | 2.45 % |
| T (Kiri) | 2.76 % | |

Berikut di bawah ini merupakan tabel rekomendasi hasil ukur LCM.

TABEL 3. 4 REKOMENDASI HASIL UKUR LCM

| % dari Ires, max | Rekomendasi |
|------------------|-----------------------------|
| ≤ 90 | LCM diukur tahunan |
| 91-99 | LCM diukur 6 bulan kemudian |
| ≥ 100 | LA harus diganti |

Dilihat dari tabel 3. 4 di atas merupakan tabel rekomendasi hasil ukur LCM. Berdasarkan tabel tersebut diketahui bahwa standart nilai presentase arus bocor adalah sebesar ≤ 90 %. Jika dibandingkan dari hasil perhitungan presentase arus bocor menggunakan data LCM yang didapat dimana hasilnya ketika

dilihat dari hasil perhitungan yang paling tinggi yaitu sebesar 4.62% (Line 1 Tasikria), 4.15 % (Line 2 Tasikria), dan 4.02% (Line 2 Teling). dengan standart nilai presentase yang ada pada tabel 4.6 di atas, hasil dari perhitungan tersebut tergolong sangat rendah, atau bisa dikatakan bahwa hasil presentase arus bocor lightning arrester bay line Tasikria dan bay line Teling itu sangat ideal. Oleh sebab itu, jika mengikuti standart nilai presentase arus bocor yang dimana standart nilainya adalah ≤ 90 %, maka direkomendasikan bahwa untuk melakukan pengukuran LCM itu bisa diukur minimal 1 tahun sekali.

2) Nilai Tahanan Isolasi

Berikut di bawah ini merupakan hasil pengukuran nilai tahanan isolasi dari data LCM & data hasil pemeliharaan lightning arrester di Gardu Induk Tomohon.

TABEL 3. 5 HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN ISOLASI (DATA LCM & DATA HASIL PEMELIHARAAN)

| Bay | Fasa | Tahanan Isolasi (GΩ) | |
|-----------------|------|--------------------------------|----------------------------|
| | | Hasil Pengukuran Persamaan 2.2 | Hasil Pengukuran Tabel 3.3 |
| Line 1 Tasikria | R | 223 | 80000 → 80 |
| | S | | 74000 → 74 |
| | T | | 45500 → 45.5 |
| Line 2 Tasikria | R | 223 | 23200 → 23.3 |
| | S | | 29300 → 29.3 |
| | T | | 33400 → 33.4 |
| Line 2 Teling | R | 223 | 210000 → 210 |
| | S | | 132700 → 132.7 |
| | T | | 89000 → 89 |

Berikut di bawah ini adalah tabel evaluasi dan rekomendasi hasil pengukuran nilai tahanan isolasi lightning arrester.

TABEL 3. 6 EVALUASI DAN REKOMENDASI HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN ISOLASI LA

| Nilai Tahanan Isolasi | Evaluasi | Rekomendasi |
|-----------------------|----------------------------------|---|
| > 1 GΩ | Kondisi Baik | - |
| < 1 GΩ | Terjadi degradasi fungsi isolasi | 1. Lakukan pembersihan bagian yang diuji, lalu lakukan pengukuran ulang. 2. Bila hasil ukur tetap < 1 GΩ, maka rencanakan penggantian. |

Berdasarkan tabel 3. 6 di atas diketahui bahwa standart nilai tahanan isolasi adalah > 1 GΩ. Dari hasil pengukuran tahanan isolasi menggunakan data LCM yang diperoleh, didapatkan bahwa hasil nilai tahanan isolasi minimum dari bay line 1 Tasikria, bay line 2 Tasikria dan bay line 2 Teling itu sebesar 223 GΩ. Begitupun jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai tahanan isolasi dari data hasil pemeliharaan yang ada pada tabel 3.3, dimana pada tabel tersebut diperoleh nilai tahanan isolasi dari bay line Tasikria dan bay line Teling yang paling tinggi sebesar 210 GΩ. Jika dibandingkan kedua hasil tersebut dengan mengikuti standart nilai minimal nilai tahanan isolasi yang ada pada tabel III. 6 di atas, dimana standart nilai minimalnya itu > 1 GΩ, maka menjadi evaluasi bahwa tahanan isolasi daripada peralatan lightning arrester yang terpasang di Gardu Induk Tomohon khususnya yang dioperasikan untuk bay line Tasikria dan bay line Teling itu dalam kondisi yang sangat baik dan dalam kondisi yang sangat aman untuk dioperasikan.

Berikut dibawah ini adalah hasil nilai tahanan grounding menggunakan data hasil pemeliharaan (**tabel 2.6**).

TABEL 3. 7 HASIL NILAI TAHANAN GROUNDING MENGGUNAKAN DATA HASIL PEMELIHARAAN

| Bay | Fasa | GND (Ω) |
|------------------|------|---------|
| Line 1 Tasik Ria | R | < 1 |
| | S | < 1 |
| | T | < 1 |
| Line 2 Tasik Ria | R | < 1 |
| | S | < 1 |
| | T | < 1 |
| Line 2 Teling | R | < 1 |
| | S | < 1 |
| | T | < 1 |

Berikut di bawah ini adalah tabel evaluasi dan rekomendasi hasil pengukuran nilai tahanan grounding.

TABEL 3. 8 EVALUASI DAN REKOMENDASI HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN GROUNDING

| Nilai Tahanan Pentanahan | Evaluasi | Rekomendasi |
|--------------------------|--|--|
| < 1 Ω | Kondisi yang Memadai | - |
| > 1 Ω | Terjadi degradasi fungsi pentanahan LA | 1. Melakukan proses pembersihan kawat pentanahan, termasuk area dan koneksi kawat pentanahan. 2. Melakukan pengukuran ulang. 3. Fungsi pentanahan Lightning Arrester mengalami penurunan.. |
| < 1 Ω | Kondisi Baik | - |

Tabel 3. 8 di atas merupakan standart nilai tahanan pentanahan yang dapat menunjukkan kondisi dimana tahanan pentanahan daripada suatu peralatan listrik masih dalam kondisi baik atau masih diperiksa kembali.

Berdasarkan hasil pentanahan dari data hasil pemeliharaan yang diperoleh di tabel 3.3, dan tabel III. 7, didapatkan bahwa nilai pentanahan pada setiap lightning arrester khususnya untuk bay line Tasikria dan bay line Teling sebesar < 1 Ω. Oleh sebab itu, dari hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan tersebut jika dibandingkan dengan standart nilai tahanan pentanahan pada tabel III. 8, diketahui bahwa nilai pentanahan lightning arrester yang terpasang di Gardu Induk Tomohon khususnya untuk bay line Tasikria dan bay line Teling masih dalam kondisi yang baik.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisa mengenai unjuk kerja lightning arrester terhadap tahanan arus bocor, tahanan isolasi dan tahanan grounding pada peralatan lightning arrester yang terpasang di Gardu Induk Tomohon masih dalam kondisi unjuk kerja yang sangat baik karena berdasarkan hasil yang didapat jika diukur:

1. Hasil presentase tahanan arus bocor lightning arrester untuk bay line Tasikria dan bay line Teling menggunakan “persamaan 2.1” hasil nilai presentasinya itu sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu $\leq 90\%$.
2. Hasil nilai tahanan isolasi dari hasil pengukuran menggunakan “persamaan 2.2”, didapatkan bahwa

hasil tahanan isolasi lightning arrester untuk bay line 1&2 Tasikria dan bay line 2 Teling adalah sebesar 223 GΩ. Jika dibandingkan dengan hasil nilai tahanan isolasi dari hasil pemeliharaan yang didapat dimana nilai paling tinggi saja dari kedua bay line tersebut sebesar 210 GΩ. Oleh sebab itu hasil dari perhitungan menggunakan “persamaan 2.2” dan hasil dari data hasil pemeliharaan itu sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu > 1 GΩ.

3. Hasil nilai tahanan grounding yang didapat menggunakan hasil dari data dari hasil pemeliharaan yang didapat dimana nilai dari bay line Tasikria dan bay line Teling sebesar < 1Ω. Hasil tersebut sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu < 1Ω.
4. Diperkirakan bahwa peralatan lightning arrester yang terinstall di Gardu Induk Tomohon khususnya untuk bay line Tasikria dan bay line Teling masih bisa digunakan untuk jangka waktu yang cukup lama karena jika dilihat dari kondisi peralatan tersebut masih dalam kondisi yang sangat baik.

B. Saran

Diharapkan hasil analisa dan pengukuran yang diperoleh bisa menjadi pedoman untuk pengukuran presentase arus bocor, nilai tahanan isolasi dan pentanahan grounding terhadap peralatan proteksi lightning arrester.

V. KUTIPAN

- [1] J. Manihuruk, T. Simorangkir, and N. L. Sitanggang, “Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV,” *J. ELPOTEC*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2021, doi: 10.51622/elpotec.v4i1.447.
- [2] alief Rakhman, “Lightning Arrester,” *Alief Rakhman*, Sep. 21, 2022. <https://rakhman.net/electrical-id/lightning-arrester/> (accessed Jul. 22, 2023).
- [3] M. T. Ir. Teguh Utomo, “Kajian Unjuk Kerja Kelistrikan Arester Porselen Dan Arester Polimer Pada Sistem Tegangan 20 Kv,” *Journal:eArticle*, Brawijaya University, 2014. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.neliti.com/publications/120786/>
- [4] S. M. Gunawan, J. Santosa, and J. Siwalankerto, “Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan,” vol. 1, no. 1, 2013.
- [5] M. Marlanfar, Y. Yusmartato, Y. Yusniati, and Z. Pelawi, “ANALISA PENEMPATAN LIGHTNING ARESTER PADA GARDU INDUK TANJUNG MORAWA.” 2020. Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/2837>
- [6] O. H. GUNAWAN, “ANALISIS ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFU DAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA,” undergraduate, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2021. doi: 10/S1%20Teknik%20Elektro_30601700030_pernyataan_publicasi.pdf.
- [7] I. M. Asna *et al.*, “Analisis Konstruksi Posisi Lightning Arrester Di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem,” *J. Ilm. Telsinas Elektro Sipil Dan Tek. Inf.*, vol. 4, no. 1, Art. no. 1, 2021, doi: 10.38043/telsinas.v4i1.2143.
- [8] M. TASBIR, “ANALISA PERALATAN LIGHTNING ARRESTER PADA GARDU INDUK BOLANGI 150 KV” Accessed: Jul. 25, 2023. [Online]. Available: https://digilibadmin.unismuh.ac.id/upload/24218-Full_Text.pdf
- [9] I. Setiawai, “PENGUKURAN TAHANAN ISOLASI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) MEDAN LABUHAN,” 2020.
- [10] W. Triyogo, A. Purnomoadi, H. Hatala, E. D. Prasetyo, Hamiruddin, and Mastur, *Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester*. 2014.
- [11] R. A. Larasati, “ANALISIS KARAKTERISTIK KERJA DAN JARAK MAKSIMUM LIGHTNING ARRESTER DENGAN PERALATAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 kV DI PT. PLN (PERSERO)

- A.RIVAI PALEMBANG,” 2023, Accessed: Aug. 03, 2023. [Online]. Available: <http://eprints.polsri.ac.id/11663/3/File%20III.pdf>
- [12] R. T. Jurnal, I. Hajar, and E. Rahman, “KAJIAN PEMASANGAN LIGHTNING ARRESTER PADA SISI HV TRANSFORMATOR DAYA UNIT SATU GARDU INDUK TELUK BETUNG: Ibnu Hajar, Eko Rahman,” *ENERGI KELISTRIKAN*, vol. 9, no. 2, Art. no. 2, 2017, doi: 10.33322/energi.v9i2.42.
- [13] Iqbal Pugar Ramadhan, “KINERJA LIGHTNING ARRESTER YANG BERUSIA LEBIH DARI 30 TAHUN DI GARDU INDUK 150 kV SRONDOL PT.PLN (PERSERO) UPT SEMARANG,” other, UNNES, 2019. Accessed: Jul. 22, 2023. [Online]. Available: <http://lib.unnes.ac.id/36791/>
- [14] A. R. ABIDIN, “PENENTUAN KELAYAKAN ARUS BOCOR LIGHTNING ARRESTER DI GARDU INDUK 150 KV CEPU,” undergraduate, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2021. doi: 10/LAMPIRAN.pdf.
- [15] A. H. Khavari, A. Munir, and Z. A.- Malek, “Circuit-based method for extracting the resistive leakage current of metal oxide surge arrester,” *Bull. Electr. Eng. Inform.*, vol. 9, no. 6, Art. no. 6, Dec. 2020, doi: 10.11591/eei.v9i6.2258.



Gabriel Imanuel Garang, lahir di Manado, Sulawesi Utara pada tanggal 20 Maret 2001. Alamat tempat tinggal sekarang di Manado, Malalayang I, Lingkungan III, Perumahan PDK. Penulis mulai menempuh pendidikan di Sekolah Dasar (SD) GMIM 23 Manado (2007-2013). Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 8 Manado (2013-2016). Selanjutnya

penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 9 Manado (2016-2019). Kemudian, pada tahun 2019, penulis melanjutkan pendidikan di salah satu perguruan tinggi di Manado, yaitu Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT). Penulis memilih program studi S-1 Teknik Elektro di Jurusan Elektro, Fakultas Teknik, dan mengambil konsentrasi Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2021. Selama masa pendidikan, penulis juga menjalani Kerja Praktek atau Magang di PT. Hendri Elyon Narwastu selama bulan Januari-Februari tahun 2022. Di tahun yang sama pada bulan November, penulis juga mengikuti Kuliah Kerja Terpadu (KKT) angkatan 133 yang berlangsung selama 23 hari di Desa Warembungan, Kecamatan Pineleng, Kabupaten Minahasa. Penulis juga tergabung dalam kepengurusan organisasi Himpunan Mahasiswa Elektro.