

STUDI PERENCANAAN NILAI TAHANAN ISOLASI LIGHTNING ARRESTER 150 KV DI GARDU INDUK LHOKSEUMAWE

Vivi Novianty¹, Muhammad Daud², Dedi Fariadi³, Arnawan Hasibuan⁴, Badriana⁵

^{1,2,3,4,5}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Email: vivi.200150072@mhs.unimal.ac.id¹, mdaud@unimal.ac.id², dedifariadi@unimal.ac.id³,
arnawan@unimal.ac.id⁴, badriana@unimal.ac.id⁵

Corresponding Author : Muhammad Daud

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Email: mdaud@unimal.ac.id

Abstrak – Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai tahanan isolasi *Lightning Arrester* (LA) 150 kV di Gardu Induk Lhokseumawe guna memastikan keamanan peralatan utama terhadap tegangan lebih akibat surja petir. Pengukuran dilakukan menggunakan alat megger dengan tegangan uji 5000 V, dan hasilnya dibandingkan dengan data pengukuran dua tahun sebelumnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi LA pada semua fasa (R, S, T) di empat penghantar (Langsa, Panton Labu, Arun 1, dan Arun 2) masih memenuhi standar minimum (≥ 1 M Ω). Nilai tertinggi diperoleh pada fasa R GI Langsa sebesar 827 M Ω , sedangkan terendah pada fasa T GI Arun 2 sebesar 184 M Ω . Secara keseluruhan, kondisi isolasi LA masih sangat baik dan efektif dalam mencegah arus bocor. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi pemeliharaan preventif untuk menjaga kinerja LA.

Kata-kata kunci: *Lightning Arrester (LA), Megger Test, Gardu Induk, Tegangan Kerja, Tahanan Isolasi.*

Abstract – This study aims to evaluate the insulation resistance value of the 150 kV *Lightning Arrester* (LA) at the Lhokseumawe Substation to ensure the safety of main equipment against overvoltage due to lightning surges. Measurements were carried out using a megger with a test voltage of 5000 V, and the results were compared with data from two years prior. The research shows that the insulation resistance values of LA in all phases (R, S, T) across four conductors (Langsa, Panton Labu, Arun 1, and Arun 2) still meet the minimum standard (≥ 1 M Ω). The highest value was obtained in phase R of GI Langsa at 827 M Ω , while the lowest was in phase T of GI Arun 2 at 184 M Ω . Overall, the LA insulation condition remains excellent and effective in preventing leakage current. This study also provides preventive maintenance recommendations to maintain LA performance.

Keywords: *Lightning Arrester (LA), Megger Test, Substation, Working Voltage, Insulation Resistance.*

I. PENDAHULUAN

Lightning Arrester (LA) merupakan komponen kritis dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi melindungi peralatan dari tegangan lebih akibat surja petir atau hubung. Gardu Induk Lhokseumawe 150 kV memiliki beberapa penghantar utama yang dilengkapi dengan LA. Pemeliharaan LA secara berkala, termasuk pengukuran tahanan isolasi, sangat penting untuk memastikan kinerjanya tetap optimal [1].

Penelitian ini berfokus pada evaluasi nilai tahanan isolasi LA menggunakan alat megger [2]. Tujuannya adalah untuk membandingkan hasil pengukuran terkini dengan data dua tahun sebelumnya dan menentukan apakah LA masih memenuhi standar keamanan. Studi ini juga memberikan rekomendasi tindakan pemeliharaan berdasarkan hasil analisis [3]. Gardu induk (GI) yang

juga merupakan instalasi yang terdiri dari beberapa sekumpulan peralatan pada tegangan tinggi yang menghubungkan sistem pembangkit, transmisi, maupun pada distribusi [4]. Gardu induk juga mempunyai peran sangat penting pada sistem kelistrikan, oleh karena itu gardu induk disebut ujung tombak penyaluran transmisi [5]. Selain itu juga gardu induk memegang peranan yang sangat penting untuk mengatur kebutuhan beban energi.

Oleh karena itu, gardu induk harus memiliki kualitas serta kontinuitas yang baik dalam penyaluran energi listrik. Dalam sistem tenaga listrik pasti akan terjadi adanya suatu gangguan, baik dari internal maupun eksternal. Gangguan-gangguan tersebut biasanya dapat diakibatkan dari alam, seperti petir, binatang dan pohon, atau juga dari peralatan itu sendiri, seperti usia dan kegagalan fungsi kerja LA yang memiliki sifat isolator yang bisa mengalirkan arus yang bocor ke tanah, dan

menjadi konduktor yang dapat mengalirkan arus surja ke tanah [6].

Di Gardu Induk Lhokseumawe ada beberapa yang terdiri dari, trafo, dan bay kopel [7]. Masing-masing dari bay tersebut terdapat beberapa peralatan utama yang memiliki fungsi berbeda. Peralatan utama tersebut perlu diperhatikan pemeliharaan agar terhindar dari gangguan, atau kerusakan-kerusakan yang terdapat pada peralatan lainnya, yang juga berdampak pada kinerja gardu induk dalam proses penyaluran listrik [8].

Penelitian ini memiliki kebaruan karena berfokus pada analisis nilai tahanan isolasi LA 150 kV yang ada di Gardu Induk Lhokseumawe. Penelitian sebelumnya hanya membahas kinerja LA secara pada tegangan yang berbeda, tanpa melihat langsung kondisi di lapangan pada gardu induk. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah pengukuran langsung dengan perhitungan nilai tahanan minimum dan maksimum sesuai standar yang dibandingkan dengan hasil pemeliharaan yang dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh pemeliharaan terhadap LA 150 kV di wilayah Lhokseumawe yang memiliki kondisi lingkungan yang berbeda dengan lokasi penelitian sebelumnya.

II. TINJAUAN PUSTAKA (OPSIONAL)

A. Pengertian *Lightning Arrester*

Lightning Arrester (LA), atau penangkal petir adalah perangkat yang dirancang untuk melindungi peralatan listrik dan sistem distribusi daya dari kerusakan akibat lonjakan tegangan yang dihasilkan oleh petir [9]. Ketika petir menyambar atau terjadi lonjakan tegangan mendadak pada sistem kelistrikan, arus besar dapat mengalir melalui saluran listrik, mengakibatkan kerusakan pada peralatan dan infrastruktur listrik [10].

Penelitian terdahulu dilakukan oleh Muhammad Aldi Prakoso pada tahun 2024 dengan judul “Analisis Pengujian dan Pemeliharaan Dua Tahunan Pemutus Tenaga (PMT) di Gardu Induk Rungkat 150 kV”. Penelitian menggunakan pendekatan penelitian metode kuantitatif yang fokus hanya diberikan pada beberapa variabel yang dianggap relevan. Dalam pemeliharaan dua tahunan, berbagai pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dalam penelitian empat jenis pengujian dianalisa selama tiga priode pemeliharaan pada tahun 2019, 2021, dan 2023. Dengan demikian pengujian tahanan isolasi membantu memastikan keamanan dan kinerja pada sistem listrik serta peralatan elektronik. Dalam kegiatan pemeliharaan dua tahunan dilakukan ketelitian pengujian. Dengan melakukan pembersihan pada titik-titik pengujian sebelum dilakukan pengujian, yang bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengujian dapat mencapai hasil yang optimal.

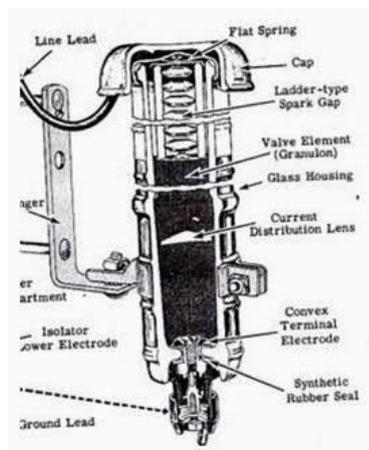
B. Prinsip Kerja *Lightning Arrester*

Dalam kondisi kerja normal, *arrester* berfungsi sebagai isolator. Namun lonjakan arus akibat petir,

arrester akan berfungsi sebagai konduktor yang akan mengalirkan arus tinggi ke tanah [11]. Setelah tegangan lonjakan arus hilang, *arrester* berfungsi kembali menjadi isolator agar PMT tidak sempat membuka. Kondisi normal (tidak terkena petir) arus yang bocor yang terdapat di *arrester* tidak boleh melebihi 2 mA [12].

C. *Lightning Arrester* Jenis Katub (Valve)

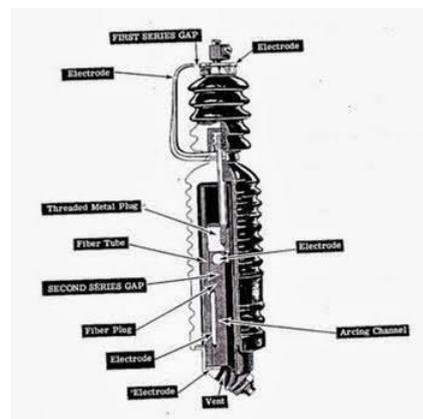
Alat pengaman penangkal petir tipe katub terdiri dari celah percikan yang dapat dihubungkan secara seri dengan resistor nonlinier atau resistor katub [13]. Ujung celah percikan dihubungkan ke kabel fasa, sedangkan ujung resistor katub dihubungkan ke ground [14], seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gbr. 1 LA Jenis Katub (Valve)

D. *Lightning Arrester* Jenis Expulsion

Penangkal petir tipe ekspulsi ini memiliki dua celah percikan, satu eksternal dan satu internal [15]. Ketika terjadi tegangan lebih pada jaringan, terjadi luapan busur api pada elektroda batang, yang bertindak sebagai celah percikan [16]. Luapan busur api ini turun ke dalam tabung serat di antara elektroda atas dan bawah, yang merupakan celah percikan [17]. Suhu luapan dari busur api menciptakan tekanan di dalam tabung serat, yang menyebabkan tabung serat menghasilkan uap gas [18], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gbr. 2 LA Jenis Expulsion

E. Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester*

LA merupakan peralatan yang dapat berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir)[18]. Surja mungkin dapat merambat didalam konduktor saat peristiwa sebagai berikut:

1. Pada kegagalan sudut perlindungan petir, sehingga surja petir mengalir didalam konduktor fasa.
2. Back flashover akibat nilai pentanahan yang tinggi, baik di gardu induk ataupun di saluran transmisi.
3. Pada proses *switching* CB/DS (surja hubung).
4. Gangguan fasa-fasa, ataupun fasa tanah baik di saluran transmisi maupun di gardu induk.

F. Tahanan Isolasi

Pengukuran resistansi antara dua kabel dalam saluran berisolasi, atau antara satu kabel dan tanah, digunakan untuk mengevaluasi kondisi insulasi pada dasar penangkal petir, apakah memindai atau tidak memindai [19]. Pengukuran dilakukan menggunakan megger bertegangan 5000 volt [15].

$$R = \frac{1000 \times U}{Q \times 2,5} \tag{1}$$

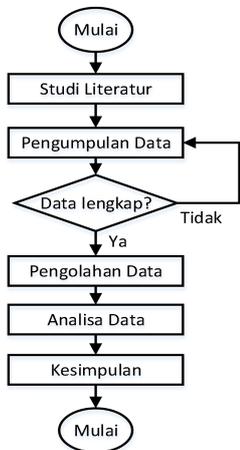
Dimana:

- R : Tahanan Isolasi Minimal
- U : Tegangan Kerja
- Q : Tegangan Instalasi Tester
- 1000 : Bilangan Tetap
- 2,5 :Faktor Keamanan

III. METODOLOGI

A. Tahapan Penelitian

Tahap-tahapan kegiatan dalam penelitian disajikan diagram alir pada Gambar 3. Penelitian dimulai dengan studi literatur, kemudian observasi lapangan dan pengumpulan data, dilanjutkan dengan verifikasi kelengkapan data, pengolahan data, lalu analisa data, dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan.



Gbr. 3 Diagram Alir Penelitian

B. Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer serta komponen yang terdapat di Gardu Induk Lhokseumawe. Adapun data yang di dapat seperti pada Gambar 4 adalah data pengukuran tahanan isolasi LA di Gardu Induk Lhokseumawe, JLN SMA 1 BAYU_ Lhokseumawe.



Gbr. 4 Gardu Induk Lhokseumawe

Tampak LA seperti Gambar 5 yang ada di Gardu Induk Lhokseumawe.



Gbr. 5 Tampak LA

Gardu Induk Lhokseumawe memiliki 4 bay penghantar di antaranya Gardu Induk Langsa, Gardu Induk Pantan Labu, Gardu Induk Arun, dan Gardu Induk Arun 2.

Adapun metode yang digunakan dalam pengumpulan data dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Pengukuran

Pengukuran tahanan isolasi pada sistem penangkal petir dilakukan di lokasi instalasi oleh teknisi terlatih menggunakan Megger Tester sesuai dengan standar IEEE, guna memastikan bahwa sistem bekerja dengan aman dan efisien. Pengukuran ini dilakukan saat instalasi awal, setelah perbaikan, dan secara berkala sesuai jadwal pemeliharaan, untuk mencegah potensi kerusakan pada infrastruktur dan menjaga keselamatan manusia dari bahaya petir. Selain itu, data tambahan seperti sejarah sambaran petir, kondisi cuaca, dan spesifikasi teknis komponen dikumpulkan sebelumnya.

2) Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk mengukur tahanan isolasi adalah sebagai berikut: Alat Meter Tahanan Isolasi untuk mengukur tahanan isolasi instalasi tegangan menengah maupun tegangan rendah. Untuk tegangan menengah digunakan megger batas ukur mega ohm dan tegangan alat ukur antara 5000 sampai 10000 Volt, sedangkan tegangan rendah digunakan dengan batas ukur 500 sampai 1000 Volt arus searah. Alat meter tahanan isolasi seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gbr. 6 Meter Tahanan Isolasi

C. Metode Pengujian

Metode pengujian tahanan isolasi pada LA 150 kV di Gardu Induk Lhokseumawe dilakukan dengan menggunakan *Insulation Resistance Tester* (Megger) dengan kapasitas tegangan uji 5 kV. Sebelum pengujian arrester terlebih dulu dipastikan dalam kondisi off dan bebas dari tegangan. Kemudian dilakukan pembersihan permukaan agar hasil ukur tidak dipengaruhi oleh kelembaban. Terminal positif megger dihubungkan pada terminal atas arrester sedangkan terminal negatif dihubungkan ke bagian *grounding*.

LA merupakan peralatan proteksi yang berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik dari tegangan lebih akibat sambaran petir maupun *switching*. Nilai tahanan isolasi yang baik akan memastikan bahwa arus bocor yang mengalir melalui LA dalam kondisi normal sangat kecil, sehingga LA hanya berkerja ketika terjadi tegangan lebih. Menurut standar IEC 60099-5 dan IEEE Std 4-2013, pengujian tahanan isolasi LA dilakukan dengan menggunakan megger pada tegangan uji 5000 V DC untuk peralatan 150 kV. Nilai hasil pengujian dinyatakan dalam satuan megaohm ($M\Omega$).

Gardu Induk Lhokseumawe memiliki 4 penghantar diantara lain Gardu Langsa, Gardu Pantan Labu, Gardu Arun, dan Gardu Arun 2. Karena data standar peralatan, metode pengujian serta spesifikasi teknis LA pada keempat gardu induk sama. Hasil yang dihasilkan dari keempat lokasi dapat digunakan sebagai analisis, khususnya di Gardu Induk Lhokseumawe sebagai objek utama penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran resistansi isolasi dilakukan untuk menentukan nilai resistansi antara dua komponen yang berenergi dan dibumikan. Selain itu, resistansi isolasi adalah resistansi yang terdapat di antara dua elemen konduktif yang dipisahkan oleh bahan isolasi. Pengukuran resistansi isolasi dilakukan pada setiap peralatan yang menghubungkan bagian yang berenergi ke bagian yang dibumikan, tetapi pengukuran resistansi isolasi dilakukan saat peralatan tidak berenergi (mati). Pengukuran pada setiap konduktor menggunakan alat uji, yaitu megger dengan standar yang sering digunakan untuk mengukur resistansi isolasi, antara lain IEEE Std 43-2000 ($> 1 M\Omega / 1 kV$).

B. Hasil Pengujian LA Gardu Induk Langsa

Pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kondisi isolasi dalam melindungi peralatan listrik dari tegangan lebih akibat sambar petir seperti disajikan dalam Tabel 1.

TABEL I
Nilai Tahanan Isolasi LA pada Gardu Induk Langsa

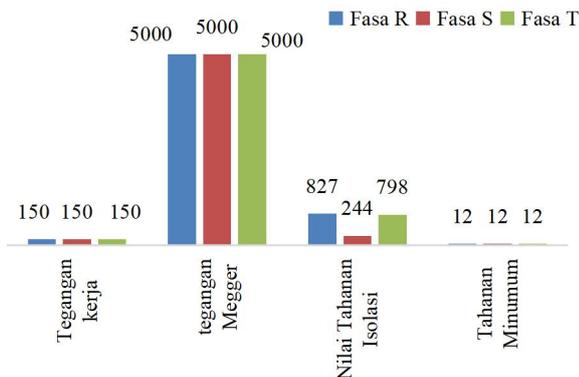
| Jenis Peralatan | Tegangan Kerja (kV) | Tegangan Megger (V) | Tahanan Isolasi ($M\Omega$) | Tahanan Minimum ($M\Omega$) | Status /Evaluasi |
|-----------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|
| LA Fasa R | 150 kV | 5000 | 827 | 12 | Baik |
| LA Fasa S | 150 kV | 5000 | 244 | 12 | Baik |
| LA Fasa T | 150 kV | 5000 | 798 | 12 | Baik |

Tabel 1 menunjukkan hasil dari pengujian tahanan isolasi dari peralatan LA pada Gardu Induk Langsa untuk masing-masing fasa. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat megger pada tegangan uji sebesar 5000 V dengan tegangan kerja nominal dari peralatan sebesar 150 kV.

Diketahui : U (Tegangan Kerja)
 Q (Tegangan Megger)

$$R = \frac{1000 \times U}{Q \times 2,5} = \frac{1000 \times 150}{5000 \times 2,5} = 12 \text{ M}\Omega .$$

Berdasarkan data pada Tabel 1 dapat ditampilkan dalam grafik seperti pada Gambar 7, sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan langkah pemeliharaan atau pada perbaikan selanjutnya.



Gbr. 7 Grafik Nilai Tahanan Isolasi LA Langsa

C. Hasil Pengujian LA Gardu Induk Pantan Labu

Hasil pengujian tahanan isolasi pada Gardu Induk Pantan Labu seperti diperlihatkan pada Data Tabel 2.

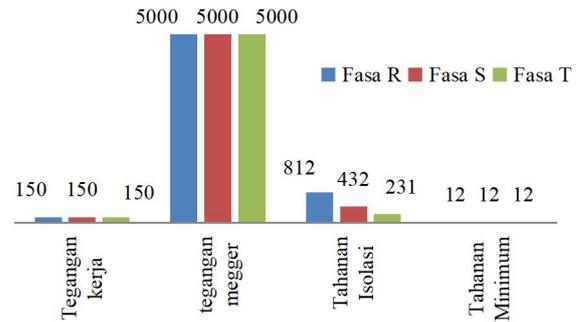
TABEL II
 Nilai Tahanan Isolasi LA Pantan Labu

| Jenis Peralatan | Tegangan Kerja (kV) | Tegangan Megger (V) | Tahanan Isolasi (MΩ) | Tahanan Minimum (MΩ) | Status /Evaluasi |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| LA Fasa R | 150 kV | 5000 | 812 | 12 | Baik |
| LA Fasa S | 150 kV | 5000 | 432 | 12 | Baik |
| LA Fasa T | 150 kV | 5000 | 231 | 12 | Baik |

Pada Tabel 2 hasil pengujian menunjukkan bahwa semua LA masih berada diatas batas minimum tahanan isolasi yaitu sebesar 12 MΩ. Dengan tegangan kerja 150 kV, tegangan Megger 5000, dan untuk nilai tahanan isolasi memiliki nilai untuk fasa R 812 MΩ, Fasa S 432 MΩ dan fasa T 231 MΩ. Menentukan tahanan isolasi *arrester* dapat dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{1000 \times U}{Q \times 2,5} = \frac{1000 \times 150}{5000 \times 2,5} = 12 \text{ M}\Omega .$$

Berdasarkan data pada Tabel 2 dapat ditampilkan dalam grafik seperti pada Gambar 8, sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan langkah pemeliharaan atau pada perbaikan selanjutnya.



Gbr 8 Grafik Nilai Tahanan Isolasi LA Pantan Labu

D. Hasil Pengujian LA Gardu Induk Arun

Hasil pengujian tahanan isolasi pada Gardu Induk Arun seperti diperlihatkan pada Data Tabel 3.

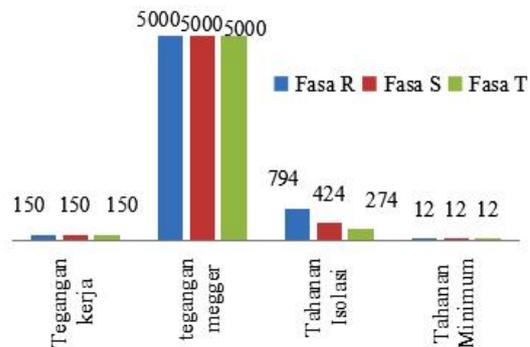
TABEL III
 Nilai Tahanan Isolasi LA Arun

| Jenis Peralatan | Tegangan Kerja (kV) | Tegangan Megger (V) | Tahanan Isolasi (MΩ) | Tahanan Minimum (MΩ) | Status /Evaluasi |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| LA Fasa R | 150 kV | 5000 | 794 | 12 | Baik |
| LA Fasa S | 150 kV | 5000 | 424 | 12 | Baik |
| LA Fasa T | 150 kV | 5000 | 274 | 12 | Baik |

Pada Tabel 3 hasil pengujian pada ketiga fasa di Gardu Induk Arun diketahui bahwa seluruh nilai tahanan isolasi masih berada diatas batas minimum yang tentukan, yaitu masih sebesar 12 MΩ. Menentukan tahanan isolasi *arrester* dapat dihitung:

$$R = \frac{1000 \times U}{Q \times 2,5} = \frac{1000 \times 150}{5000 \times 2,5} = 12 \text{ M}\Omega .$$

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat ditampilkan dalam grafik seperti pada Gambar 9, sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan langkah pemeliharaan atau pada perbaikan selanjutnya.



Gbr. 9 Grafik Nilai Tahanan Isolasi LA Arun

E. Hasil Pengujian LA Gardu Induk Arun 2

Hasil pengujian tahanan isolasi pada Gardu Induk Arun 2 seperti diperlihatkan pada Data Tabel 4.

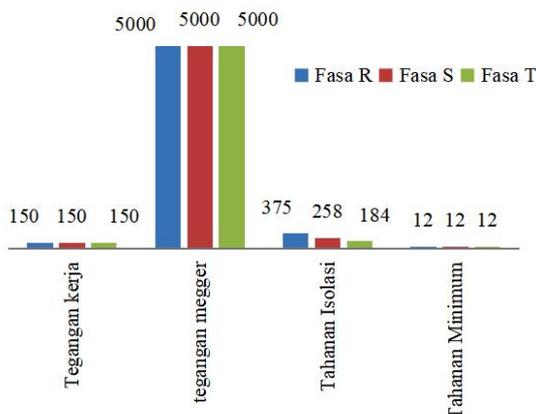
TABEL IV
Nilai Tahanan Isolasi LA Arun 2

| Jenis Peralatan | Tegangan Kerja (kV) | Tegangan Megger (V) | Tahanan Isolasi (MΩ) | Tahanan Minimum (MΩ) | Status /Evaluasi |
|-----------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------|
| LA Fasa R | 150 kV | 5000 | 375 | 12 | Baik |
| LA Fasa S | 150 kV | 5000 | 258 | 12 | Baik |
| LA Fasa T | 150 kV | 5000 | 184 | 12 | Baik |

Pada Tabel 4 hasil pengujian tahanan isolasi pada ketiga fasa di Gardu Induk Arun 2 masih berada diatas batas minimum yang tentukan. Menentukan tahanan isolasi *arrester* dapat dihitung:

$$R = \frac{1000 \times U}{Q \times 2,5} = \frac{1000 \times 150}{5000 \times 2,5} = 12 \text{ M}\Omega .$$

Berdasarkan data pada Tabel 4 dapat ditampilkan dalam grafik seperti pada Gambar 10, sebagai dasar pertimbangan dalam penentuan langkah pemeliharaan atau pada perbaikan selanjutnya.



Gbr. 10 Grafik Nilai Tahanan Isolasi LA Arun 2

V. KESIMPULAN

Perencanaan LA tidak hanya berfokus pada penetapan standar, melainkan juga melibatkan perencanaan pengukuran nilai tahanan isolasi secara berkala menggunakan Megger. Evaluasi hasil pengukuran secara cermat terhadap IEEE Std 43-2000 ($\geq 1 \text{ M}\Omega / 1 \text{ kV}$). Perencanaan tindak lanjut berupa pemeliharaan preventif, perbaikan, atau penggantian LA berdasarkan kondisi aktual. Kinerja LA untuk penghantar pada Gardu Induk Lhokseumawe 150 kV dapat dikatakan baik jika alat mampu melindungi sistem dari gangguan lonjakan tegangan akibat sambaran petir secara efektif, dimana untuk fasa R sebesar 827 MΩ, fasa S 244 MΩ, dan fasa T 798 MΩ. Hasil nilai yang

didapatkan baik karena disebabkan oleh beberapa faktor seperti perbedaan suhu, dan kelembaban. Nilai tahanan isolasi terukur dengan tahanan minimum 12 MΩ.

REFERENSI

- [1] Shoimatussururoh, S. (2022). Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung. *INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi*, 1(5), 520-531.
- [2] Aiza, N., & Ariessaputra, S. (2024). Pemeliharaan Shutdown Measurement pada Peralatan Current Transformator dan Lightning Arrester pada Bay Line Kuta 2 Gardu Induk 150kV Sengkol. *JEITECH (Journal of Electrical Engineering and Information Technology)*, 2(2), 8-14.
- [3] Lumiu, Timoti Zefanya and Patras, Lily S. and Mangindaan, Glanny M. Ch. (2023). *Analisa Unjuk Kerja Lightning Arrester yang ditempatkan di Gardu Induk Likupang*. Fakultas Teknik Unsrat.
- [4] Indra, M. H., Handayani, Y. S., & Priyadi, I. (2022). Pengujian Tahanan Isolasi Pada Transformator Distribusi 160 kVA Di PT. PLN (PERSERO) UP3 Bengkulu. *JURNAL AMPLIFIER: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 12(2).
- [5] Idriana, E., Putri, R., Meliala, S., & Fariadi, D. (2021). Analisa setting koordinasi proteksi over current relay pada jaringan distribusi di PT. PLN (persero) ULP pangkalan brandan. *Jurnal Energi Elektrik*, 10(1), 22-29.
- [6] Faisal, M. P. A., Syafriwel, S., & Hidayat, J. (2024). Analisa Dampak Sambaran Petir pada Peralatan NDB JTM-30C di Jakarta Air Traffic Services Center. *MASALIQ*, 4(2), 532-540. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i2.275>.
- [7] Yusuf, M. S. U., Saad, A. M., Islam, M., & Haque, C. A. (2019). Analysis of Lightning Surge Phenomenon and Surge Arrester Performance of a 400kV Transmission System. *WSEAS Transactions on Power Systems*, 14, 88-97.
- [8] Bhaskara, I. K. A. Y., Arjana, I. G. D., & Suartika, I. M. (2019). Analisa kegagalan lightning arrester pada penyulang Sulahan Bangli. *Jurnal SPEKTRUM Vol*, 6(3).
- [9] Jayanthana, I. P. W., Partha, C. G. I., & Arjana, I. G. D. (2020). Analisis Penempatan Lightning Arrester pada Cable Head 60 sebagai Pengaman Transformator GIS Bandara Ngurah Rai. *Jurnal SPEKTRUM Vol*, 7(1).
- [10] Yaman, Y., Hasanuddin, T., Yassir, Y., & Fahlevi, R. T. (2022). Pengujian Daya Balik pada Sinkronisasi Generator dengan Sumber Daya Sangat Besar (Infinite Bus) secara Otomatis menggunakan Multifunction Relay Tipe GCP-30 di

- Laboratorium Sistem Proteksi dan Distribusi Jurusan Teknik Elektro. *Jurnal Litek: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, 19(1), 28-33.
- [11] M. Bejo. (2013). *Pengukuran Tahanan Isolasi Pemutus Tenaga*.
- [12] Suganda, S., & Muis, A. (2021). Analisa kualitas tahanan isolasi transformator daya. *SINUSOIDA*, 23(2), 1-10.
- [13] Effendi, B. A. (2020). Pengujian tahanan isolasi pada pemeliharaan pemutus tenaga (pmt) kubikel outgoing 20 kv menggunakan insulation tester di gardu induk bantu pt. pln (persero) up2d jty dcc 2 yogyakarta. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 5(2), 126-140.
- [14] Prakoso, M. A., & Joko, J. (2024). Analisis pengujian dan pemeliharaan dua tahunan pemutus tenaga (pmt) di gardu induk rangkut 150 kv. *Jurnal Teknik elektro*, 13(2), 144-151.
- [15] Ramadhani, A. W., Joko, J., Agung, A. I., & Wrahatnolo, T. (2023). Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. *Jurnal Teknik ELEktro*, 12(1), 19-27.
- [16] Sukoco, Y., Izzati, N., & Wardana, H. K. (2023). Pengukuran Tahanan Isolasi Terminal Incoming Gardu Kubikel 20KV Di PT Haleyora Power Region 3 Jawa Timur Area Mojokerto. *Elconika*, 1(2), 32-41..
- [17] Daud, M., Hasibuan, A., Siregar, W. V., Mursalin, M., & Fachroji, R. (2023). Analisis Perhitungan Penggunaan Energi Listrik Sumber DC Pada Rumah Tinggal Tipe 54 Bersumber Energi Terbarukan. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 5(2), 109-116.
- [18] Asna, I. M., Suriana, I. W., Sugarayasa, I. W., Sutama, W., Pancane, I. W. D., Adrama, I. N. G., & Sariana, I. M. (2021). Analisis Konstruksi Posisi Lightning Arrester Di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 4(1), 46-55.
- [19] Kurniawan, R., Daud, M., & Hasibuan, A. (2023). Study of Power Flow and Harmonics when Integrating Photovoltaic into Microgrid. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1), 33-46.