



## Optimalisasi Kinerja *Lightning Arrester* Pemeliharaan Tahanan Isolasi dan Pentanahan Bay 150 kV GI Paya Geli

**Billy Alfonso Sinaga**

Universitas Negeri Medan

**Rehulina Br Sembiring**

Universitas Negeri Medan

**Marwan Brahmantyo Iblanarisa**

Univeritas Negeri Medan

**Arwadi Sinuraya**

Universitas Negeri Medan

**Desman Jonto Sinaga**

Univeritas Negeri Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

[billyalfonso.5223230017@mhs.unimed.ac.id](mailto:billyalfonso.5223230017@mhs.unimed.ac.id)

**Abstrak.** *Lightning Arrester* (LA) berperan penting dalam melindungi peralatan transmisi dari tegangan lebih. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi keandalan LA pada Bay Penghantar 150 kV di Gardu Induk Paya Geli melalui pengujian tahanan isolasi dan tahanan pentanahan sebagai parameter utama kondisi *arrester*. Metode yang digunakan meliputi inspeksi lapangan, pengukuran tahanan isolasi menggunakan *insulation tester*, serta pengukuran tahanan pentanahan dengan *Earth Tester* metode *fall-of-potential*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi berada pada rentang 78–234 G $\Omega$ , jauh melampaui standar minimum >1 G $\Omega$ , yang menandakan integritas dielektrik LA sangat baik. Sementara itu, nilai tahanan pentanahan sebesar 0,21–0,34  $\Omega$  berada jauh di bawah batas <1  $\Omega$ , membuktikan efektivitas jalur *grounding* dalam membuang arus surja. Dengan demikian, LA dinyatakan berada dalam kondisi sangat andal dan layak beroperasi.

**Kata Kunci:** *Lightning Arrester*; tahanan isolasi; tahanan pentanahan; proteksi tegangan lebih; Gardu Induk Paya Geli; transmisi 150 kV.

**Abstract.** *Lightning Arrester* (LA) play a vital role in protecting high-voltage transmission equipment from overvoltage disturbances. This study aims to evaluate the reliability of the LA installed on the 150 kV Line Bay at the Paya Geli Substation by assessing its insulation resistance and grounding resistance as key condition parameters. The method involved field inspection, insulation resistance measurement using an *insulation tester*, and grounding resistance measurement using the *fall-of-potential* method with an *Earth Tester*. The results indicate that the insulation resistance ranged from 78 to 234 G $\Omega$ , significantly exceeding the minimum requirement of >1 G $\Omega$ , demonstrating excellent dielectric integrity. Meanwhile, the grounding resistance values of 0.21–0.34  $\Omega$  were far below the <1  $\Omega$  standard, confirming the effectiveness of the grounding system in dissipating surge currents. Thus, the LA is concluded to be in highly reliable and safe operating condition.

**Keywords:** *Lightning Arrester*; insulation resistance; grounding resistance; overvoltage protection; Paya Geli Substation; 150 kV transmission.

### PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital yang mendukung aktivitas industri, komersial, dan rumah tangga. Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat menuntut stabilitas sistem yang semakin baik agar kualitas listrik meliputi aspek tegangan, frekuensi, dan keandalan tetap terjaga (Manihuruk et al., 2021). Salah satu ancaman terbesar terhadap keandalan sistem

adalah terjadinya tegangan lebih yang dapat berasal dari sambaran petir, *switching* transient, maupun gangguan hubung singkat, yang berpotensi merusak peralatan penting pada jaringan transmisi (Utomo et al., 2023).

Untuk meminimalkan risiko tersebut, sistem tenaga listrik dilengkapi perangkat proteksi berupa *Lightning Arrester* (LA). LA bekerja dengan mengalihkan lonjakan arus berlebih ke tanah sehingga mencegah gangguan yang dapat merusak transformator, pemutus tenaga, busbar, maupun peralatan kritis lainnya (Utomo et al., 2023). Namun, kemampuan LA dalam melakukan proteksi sangat bergantung pada kondisi komponen internal dan eksternalnya, terutama parameter tahanan isolasi dan tahanan pentanahan. Tahanan isolasi yang melemah dapat memunculkan kebocoran arus dan menurunkan kemampuan LA menahan tegangan normal, sedangkan tingginya tahanan pentanahan dapat menghambat proses pembuangan arus petir ke tanah sehingga kinerja LA menurun secara signifikan.

Gardu Induk Paya Geli pada Bay Penghantar 150 kV Selayang 1 ULTG Binjai merupakan salah satu titik strategis dalam jaringan transmisi. Mengingat perannya, keandalan LA pada bay tersebut harus dipastikan melalui pemeriksaan dan pemeliharaan berkala, termasuk pemeliharaan HAR 2 tahunan. Secara teoritis, LA harus memiliki nilai tahanan isolasi dan tahanan pentanahan sesuai standar PLN (Standar PLN, 2014) dan IEC agar mampu membuang arus petir secara aman. Namun, kondisi lapangan tetap perlu diverifikasi karena nilai tahanan isolasi dan tahanan pentanahan dapat mengalami perubahan seiring waktu akibat faktor lingkungan, kelembapan, atau penuaan alami komponen. Meskipun tidak selalu menimbulkan gangguan, variasi nilai ini perlu dipastikan tetap berada dalam batas standar agar keandalan LA tetap terjaga. Kebutuhan untuk memastikan kesesuaian antara kondisi aktual dan standar inilah yang menjadi fokus evaluasi teknis dalam kegiatan pemeliharaan.

Berbagai penelitian sebelumnya banyak membahas kinerja LA terhadap tegangan lebih, namun masih terbatas yang secara khusus meninjau kondisi tahanan isolasi dan tahanan pentanahan sebagai indikator keandalan LA di gardu induk. Di sinilah letak kebaruan penelitian ini, yaitu memberikan analisis langsung berdasarkan hasil inspeksi lapangan terhadap dua parameter fundamental tersebut dan membandingkannya dengan standar teknis yang berlaku.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi *Lightning Arrester* pada Bay Penghantar 150 kV di Gardu Induk Paya Geli melalui pemeriksaan nilai tahanan isolasi dan tahanan pentanahan, serta menentukan apakah perangkat masih memenuhi standar kelayakan operasional sebagai proteksi utama terhadap tegangan lebih.

## KAJIAN TEORITIS

### 1. Pemeliharaan

Pemeliharaan dalam sistem tenaga listrik merupakan rangkaian kegiatan terencana yang bertujuan menjaga keandalan, fungsi, dan keselamatan operasi peralatan. Pemeliharaan tidak hanya berfokus pada perbaikan kerusakan, tetapi juga pada pencegahan dan pengendalian degradasi komponen agar performa sistem tetap berada pada kondisi optimal. Menurut (Mauluddin et al., 2022), pemeliharaan mencakup seluruh aktivitas teknis yang memastikan mesin atau peralatan industri tetap andal sepanjang proses operasi. Sementara itu, (Nur Aiza, 2024) menekankan bahwa pemeliharaan harus direncanakan melalui strategi deteksi gangguan, pencegahan kerusakan, dan penanganan kegagalan sistem secara efektif.

Pemeliharaan dilakukan untuk menjamin kontinuitas pasokan daya, menjaga keselamatan personel, serta menghindari gangguan sistemik pada jaringan listrik. Salah satu peralatan yang mendapat perhatian khusus adalah *Lightning Arrester* (LA), karena peran utamanya dalam

meredam tegangan lebih dari sambaran petir. LA yang mengalami degradasi akibat korosi, kelembapan, atau beban berlebih harus segera diinspeksi dan diuji. Pemeliharaan LA bertujuan memastikan bahwa fungsi proteksinya tetap bekerja dalam kondisi optimal, sehingga transformator, isolator, dan peralatan vital lain tetap terlindungi (Toyib et al., 2023).

## 2. *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* (LA) adalah perangkat proteksi utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi membatasi tegangan lebih dan mengalirkannya ke tanah, baik akibat surja petir maupun transien *switching* (Adam, 2022). Pada kondisi normal, LA bekerja sebagai isolator dengan arus bocor yang sangat kecil. Namun ketika terjadi lonjakan tegangan, LA segera berubah menjadi konduktor, menyediakan lintasan impedansi rendah agar arus surja dapat dialirkan ke sistem pentanahan.



Gambar 1. *Lightning Arrester*

Fungsi ini sangat penting untuk menjaga tegangan sistem tetap berada di bawah batas tahanan isolasi (*withstand voltage*) sehingga mencegah kerusakan pada transformator, isolator, dan sistem kontrol. Dalam perannya sebagai bagian dari sistem proteksi, LA terintegrasi dengan relay proteksi, circuit breaker, CT, dan PT untuk memastikan keselamatan peralatan dan kontinuitas suplai listrik.

*Lightning Arrester* harus mampu:

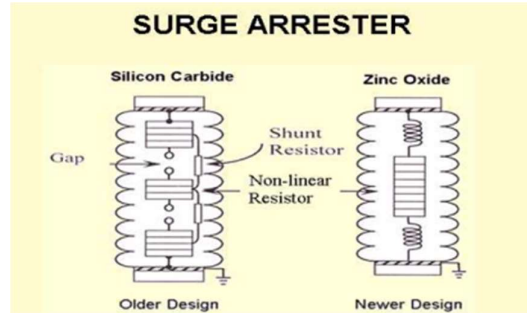
- a. Menahan tegangan lebih singkat tanpa kerusakan struktural.
- b. Mengalirkan lonjakan ke tanah tanpa menimbulkan surja baru.
- c. Memiliki rating tegangan sesuai sistem.
- d. Menyediakan jalur *bypass* ketika terjadi surja.
- e. Tidak mengganggu sistem operasi 50 Hz.

## 3. Prinsip Kerja *Lightning Arrester*

Prinsip kerja LA adalah membentuk jalur alternatif berimpedansi rendah ketika terjadi tegangan lebih (Andari et al., 2022). Pada kondisi normal, LA merupakan isolator yang tidak memengaruhi operasi 50 Hz. Namun ketika gelombang surja datang, tegangan sistem dapat melampaui nilai residual voltage. Pada kondisi ini, LA menjadi konduktif dan segera mengalirkan arus petir ke tanah. Setelah tegangan kembali normal, LA harus kembali menjadi isolatif agar tidak memunculkan *power follow current* yang dapat mengganggu sistem. Kemampuan merespons impuls cepat dan membatasi tegangan puncak merupakan indikator utama efektivitas LA dalam melindungi peralatan jaringan listrik (Barasa et al., 2020).

#### 4. Bagian – Bagian Arrester

*Lightning Arrester* tersusun dari beberapa bagian penting yang bekerja secara terpadu untuk menyalurkan arus gangguan ke tanah dan melindungi sistem tenaga dari tegangan lebih (Hajar & Rahma, 2017). Berikut adalah komponen utamanya:



Gambar 2. Bagian – Bagian Arrester

Arrester dilengkapi dengan dua buah elektroda, yaitu elektroda atas dan elektroda bawah. Elektroda atas terhubung langsung dengan bagian sistem yang bertegangan (misalnya konduktor atau terminal alat listrik), sedangkan elektroda bawah disambungkan ke sistem pentanahan (*grounding*). Kedua elektroda ini berperan sebagai penghubung awal dan akhir lintasan arus gangguan, sehingga arus surja dapat diarahkan dari sistem ke tanah dengan cepat dan aman.

a) *Spark Gap* (Sela Percik)

Spark gap merupakan celah udara yang berfungsi sebagai pemicu awal saat terjadi tegangan lebih. Ketika terjadi surja petir atau surja hubung, tegangan pada *arrester* meningkat, dan akan menyebabkan loncatan bunga api (busur listrik) melintasi celah ini. Busur tersebut kemudian mengionisasi udara di antara elektroda, sehingga arus surja dapat dialirkan melalui jalur arrester ke tanah. *Spark gap* menjadi komponen penting pada arrester konvensional yang menggunakan sistem sela (*gapped type*).

b) Tahanan Katup (*Valve Resistor*)

Tahanan katup adalah bagian dari arrester yang menggunakan material non-linear, di mana nilai tahanannya berubah tergantung besar tegangan yang melewatinya. Pada tegangan normal, tahanan ini bersifat tinggi dan menghambat arus, namun saat tegangan melonjak, tahanannya turun drastis sehingga menghantarkan arus surja ke tanah. Material yang umum digunakan adalah *Zinc Oxide* (ZnO), yang dikenal memiliki karakteristik non-linear sangat baik, dan digunakan dalam *arrester* tipe modern tanpa sela udara.

#### 5. Parameter Pemeriksaan *Lightning Arrester*

Pemeliharaan dua tahunan (HAR) pada LA mencakup pemeriksaan visual, pengujian tahanan isolasi, dan pengukuran tahanan pentanahan. Pemeriksaan ini bertujuan memastikan kinerja LA tetap dalam batas aman.

##### A. Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi merupakan salah satu prosedur penting dalam pemeliharaan *Lightning Arrester* (LA) guna memastikan bahwa komponen internal arrester, khususnya elemen varistor dan sistem isolasinya, masih berfungsi dengan

baik dalam menghambat aliran arus bocor pada kondisi tegangan kerja normal (Setiawan Indra, 2020). Isolator didefinisikan sebagai bahan yang memiliki nilai tahanan listrik sangat tinggi dan berfungsi untuk menghambat atau membatasi aliran arus listrik.

Kualitas isolator sangat mempengaruhi nilai tahanan isolasi, yang menjadi salah satu parameter utama dalam pemeliharaan LA. Ada pun beberapa jenis-jenis bahan isolator (Bonggas, 2016) pada arrester adalah sebagai berikut:

1. Isolator Porselen (*Porcelain Housing*)  
Digunakan secara luas pada arrester konvensional dan LA tegangan tinggi. Memiliki kekuatan mekanis besar namun rentan retak jika mengalami tekanan internal berlebih.
2. Isolator Polimer / Komposit (*Polymeric Housing*)  
Terbuat dari *silicone rubber* atau EPDM. Memiliki keunggulan berupa bobot ringan, ketahanan cuaca tinggi, dan performa lebih baik pada lingkungan dengan tingkat polusi tinggi.
3. Isolator Kaca (*Glass Insulator*)  
Jarang digunakan pada *arrester* modern, namun tetap ditemukan pada beberapa aplikasi transmisi. Keunggulannya adalah stabil terhadap temperatur dan tidak mengalami degradasi berantai.

Pengujian tahanan isolasi dilakukan menggunakan megger untuk mengukur arus bocor ketika diberikan tegangan DC. Nilai tahanan diperoleh dari:

$$R_{iso} = \frac{V_{test}}{I_L}$$

Keterangan:

$R_{iso}$  = tahanan isolasi ( $\Omega$  atau  $G\Omega$ )

$V_{test}$  = tegangan uji (V)

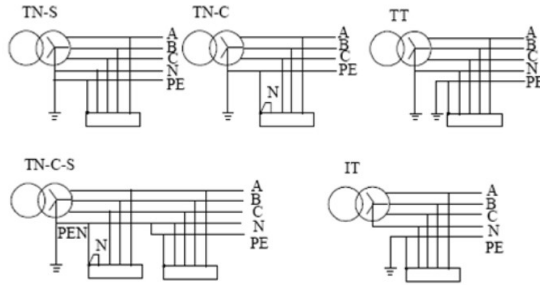
$I_L$  = arus bocor akibat tegangan uji (A)

Standar KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014 menetapkan bahwa nilai  $> 1 G\Omega$  dinyatakan baik, sedangkan  $< 1 G\Omega$  menunjukkan adanya degradasi dan memerlukan pembersihan atau tindakan lanjutan.

## **B. Pengujian Tahanan Tanah**

Pengujian tahanan tanah merupakan salah satu langkah krusial dalam kegiatan HAR dua tahunan pada *Lightning Arrester* (LA), yang bertujuan untuk memastikan sistem pentanahan berfungsi secara efektif dalam mengalirkan energi gangguan tegangan lebih ke bumi. Pengukuran ini diperlukan untuk mengetahui nilai tahanan dari sistem *grounding* yang terhubung langsung ke terminal bawah LA. Sistem pentanahan merupakan bagian penting yang perlu diperhatikan agar keamanan dan keandalan operasi sistem tenaga listrik dapat terjamin dengan baik (Murisal Asyadi, et.al 2022).

Menurut IEEE (IEEE, 1983) sistem pentanahan diklasifikasikan menjadi lima golongan utama berdasarkan hubungan titik netral sumber dan konduktor proteksi. Pemahaman ini penting karena kinerja *Lightning Arrester* sangat dipengaruhi kualitas jalur pentanahan yang membuang arus surja ke tanah.



Gambar 3. Klasifikasi Pengujian Pentanahan

1. Sistem TN-S (*Terre-Neutral Separate*)  
Netral (N) dan proteksi (PE) dipisahkan sejak dari sumber. Sistem ini memiliki impedansi gangguan rendah dan sangat andal untuk instalasi penting seperti gardu induk.
2. Sistem TN-C-S (*Terre Neutral—Combined Separate*)  
Konduktor PEN digunakan pada sebagian jaringan lalu dipisah menjadi N dan PE di beban. Banyak dipakai pada distribusi, namun memerlukan pengecekan karena kerusakan PEN dapat menaikkan tegangan sentuh.
3. Sistem TT (*Double Terre*)  
Sumber dan beban memiliki elektroda tanah terpisah. Tahanan pentanahan menjadi faktor kritis; semakin rendah semakin baik untuk pembuangan arus surja LA.
4. Sistem TN-C (*Terre Neutral—Combined*)  
Netral dan proteksi digabung sepanjang jaringan. Efisien, tetapi kurang aman untuk sistem dengan kebutuhan proteksi tinggi.
5. Sistem IT (*Isolated Terre*)  
Netral tidak ditanahkan langsung atau melalui impedansi tinggi. Digunakan pada instalasi khusus, namun kurang cocok untuk proteksi surja karena arus gangguan tanah terbatas.

Pengujian dilakukan dengan *Earth Tester* untuk memastikan bahwa jalur pentanahan LA memiliki impedansi rendah agar arus surja dapat mengalir dengan aman. Metode dasar *fall-of-potential* (Annisa, 2024) menggunakan persamaan:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dan untuk elektroda batang vertikal:

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

Keterangan:

$R$ = tahanan tanah ( $\Omega$ )

$\rho$ = resistivitas tanah ( $\Omega \cdot m$ )

$L$ = panjang batang elektroda (m)

$d$ = diameter elektroda (m)

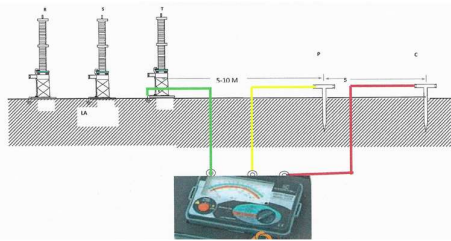
Menurut standar KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014, nilai  $< 1 \Omega$  dianggap baik, sedangkan  $> 1 \Omega$  memerlukan pengecekan ulang sambungan *grounding*.

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini berfokus pada pelaksanaan pengujian tahanan pentanahan dan tahanan isolasi *Lightning Arrester* (LA) di lingkungan Gardu Induk ULTG Binjai untuk memastikan keandalan sistem proteksi terhadap surja petir. Pengujian dilakukan berdasarkan prosedur kerja standar menggunakan *Earth Tester* Kyoritsu 4102 untuk uji tahanan pentanahan dan *Insulation Tester Tentech MD10KVR* untuk uji tahanan isolasi.

### A. Pengukuran Tahanan Pentanahan LA

Pengujian tahanan pentanahan dilakukan untuk mengetahui nilai resistansi tanah yang terhubung dengan *grounding Lightning Arrester*. Pengukuran menggunakan metode *three-terminal method* dengan *Earth Tester* Kyoritsu 4102.



Gambar 4. Pengukuran Tahanan Pentanahan

Adapun langkah-langkah pengujiannya adalah:

- 1) Mengisolasi titik pentanahan dengan melepaskan sambungan kabel *grounding* LA fasa T.
- 2) Membersihkan ujung kabel *grounding* untuk memastikan kontak pengukuran bebas karat dan kotoran.
- 3) Menyiapkan *Earth Tester* beserta tiga kabel pengukurnya (merah, kuning, hijau).
- 4) Merangkai kabel merah ke terminal C, kuning ke terminal P, dan hijau ke terminal E.
- 5) Menanam dua elektroda bantu pada formasi lurus E–P–C dengan jarak  $\pm 5$  meter antar elemen.
- 6) Mengatur skala pengukuran pada X100 atau X10, lalu menekan tombol *MEASURE*.
- 7) Mencatat hasil pengukuran dan memastikan nilainya stabil serta berada di bawah standar ( $< 1 \Omega$ ).
- 8) Mengulangi pengukuran untuk fasa R dan S, kemudian mengambil nilai rata-rata sebagai hasil akhir.
- 9) Mengembalikan instalasi pentanahan LA ke kondisi semula setelah seluruh proses selesai.

### B. Pengukuran Tahanan Isolasi LA

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan untuk mengevaluasi kualitas isolasi internal *Lightning Arrester* menggunakan *Insulation Tester Tentech MD10KVR* pada tegangan uji 5000 V. Pengujian dilakukan dalam dua tahap yaitu persiapan dan pelaksanaan, sebagai berikut:

#### a) Persiapan Pengujian

- 1) Menyiapkan alat MD10KVR dalam kondisi siap pakai dan memastikan baterai terisi.
- 2) Menyiapkan kabel uji sebagai berikut:



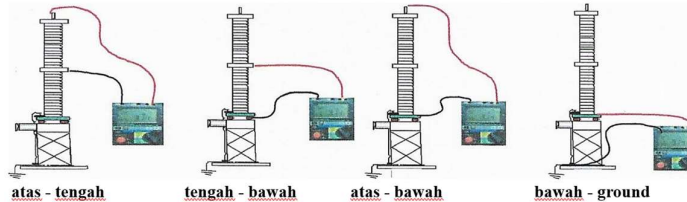
Gambar 5. Alat Ukur Tahanan Isolasi

1. Kabel Merah dari alat ukur terminal *LINE*
  2. Kabel Hitam dari alat ukur terminal *GROUND*
  3. Kabel Hijau dari alat ukur terminal *GUARD*
  4. *Press To Enter/Test*
  5. *Keypad* Pemilihan Tegangan
- 3) Membebaskan LA dari sumber tegangan dan memastikan area aman untuk pengujian.
  - 4) Membersihkan permukaan terminal uji dari debu atau kontaminan.
  - 5) Menyiapkan lembar pencatatan hasil dan memastikan tidak ada tegangan sisa pada peralatan.

**b) Pelaksanaan Pengujian**

Pengujian dilakukan pada empat kombinasi titik isolasi LA sebagai berikut:

- 1) Lakukan pengukuran, masing-masing fasa untuk:



Gambar 6. Pengukuran Tahanan Isolasi

Sisi terminal atas dengan body besi LA sisi tengah.

Body besi LA Sisi tengah dengan sisi terminal bawah .

Sisi terminal atas dengan Sisi terminal bawah LA (total)

Sisi terminal bawah dengan *ground*.

- 2) Putar switch tegangan ke posisi “5000 V”.
- 3) Tekan tombol “*PRESS TO TEST*”.
- 4) Tunggu hingga  $\pm 1$  menit agar pembacaan stabil dan catat nilai tahanan isolasi yang ditampilkan.
- 5) Putar *switch* ke posisi “*OFF*”. dan lepaskan kabel pengujian dan siapkan titik berikutnya.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

A. Hasil Uji Tahanan Isolasi

No	Titik Pengukuran	Acuan	Fas a R (G)	Fas a S (G)	Fas a T (G)	Tindakan	Kesimpulan
1	Terminal atas -ground	>1GΩ	108	79	98	Seluruh nilai tahanan isolasi berada di atas standar >1 GΩ, maka tidak diperlukan tindakan perbaikan. Cukup melakukan pemeliharaan rutin dan monitoring berkala	Isolasi LA sangat baik; nilai besar menunjukkan arus bocor sangat kecil
2	Terminal tengah-ground	>1GΩ	-	-	-		
3	Terminal atas - tengah	>1GΩ	-	-	-		
4	Terminal tengah - bawah	>1GΩ	-	-	-		
5	Terminal atas - bawah	>1GΩ	234	201	198		
6	Terminal bawah - ground	>1GΩ	78	108	98		

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nilai tahanan isolasi pada titik yang dapat diakses berada jauh di atas standar minimum >1 GΩ. Nilai pada terminal atas-ground, yaitu 108 GΩ (R), 79 GΩ (S), dan 98 GΩ (T), mengindikasikan bahwa kemampuan isolasi dalam menahan arus bocor masih sangat baik. Nilai pada rentang puluhan hingga ratusan giga ohm menunjukkan bahwa jalur konduksi tidak mengalami degradasi permukaan, kontaminasi kelembapan, maupun kerusakan material isolasi. Kondisi ini memperlihatkan bahwa *Lightning Arrester* masih memiliki fungsi protektif optimal ketika menerima surja petir.

Pengukuran antara terminal atas-bawah menghasilkan nilai isolasi yang lebih tinggi lagi, yaitu 234 GΩ (R), 201 GΩ (S), dan 198 GΩ (T). Nilai tersebut mencerminkan integritas isolasi internal antar-elemen MOV (*Metal Oxide Varistor*) masih utuh. MOV yang memiliki resistansi sangat tinggi dalam kondisi normal akan mempertahankan nilai isolasi ini. Bila terdapat kerusakan pada MOV, seperti retak, kelembapan internal, atau degradasi termal, nilai tahanan isolasi biasanya akan turun secara drastis. Namun data pengujian ini menunjukkan bahwa struktur seri MOV masih berfungsi sesuai desain pabrikan.

Pada titik terminal bawah-ground, nilai tahanan 78 GΩ (R), 108 GΩ (S), dan 98 GΩ (T) tetap berada dalam kondisi sangat aman. Nilai terminal-ground merupakan indikator penting untuk mendeteksi potensi lembab, jalur bocor, atau kontaminasi pada bagian bawah arrester. Nilai yang tetap tinggi menandakan bahwa jalur isolasi bagian bawah tidak mengalami degradasi akibat faktor lingkungan seperti polusi, hujan asam, atau aging material.

Terdapat tiga titik yang tidak dilakukan pengujian, yaitu terminal tengah-ground, atas-tengah, dan tengah-bawah. Hal ini bukan merupakan kekurangan prosedur, tetapi justru mengikuti standar pemeliharaan internasional. Terminal tengah pada LA bukan terminal eksternal; titik ini merupakan bagian internal dari seri elemen MOV yang disegel secara pabrikan. Upaya untuk mengakses titik ini dapat merusak kedap isolasi internal, melanggar segel pabrik (*factory sealed*), serta berpotensi menyebabkan pergeseran karakteristik proteksi LA. Standar IEC 60099-5, IEEE Std C62.11, serta pedoman pemeliharaan PLN menegaskan bahwa pengujian hanya dilakukan pada terminal yang dapat diakses tanpa membuka struktur isolasi.

B. Hasil Uji Tahanan Pentanahan

No	Titik Pengukuran	Acuan	R (Ω)	S (Ω)	T (Ω)	Kesimpulan/Hasil
1	Tahanan Terminal Pentanahaan LA	< 1 Ω (KEPDIR nomor 0520-2.K/DIR/2014)	0.21	0.31	0.34	Memenuhi standar. Sistem pentanahan berfungsi sangat baik.

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan terminal pentanahan *Lightning Arrester* (LA) pada sistem 150 kV, diperoleh nilai tahanan  $R = 0,21 \Omega$ ,  $S = 0,31 \Omega$ , dan  $T = 0,34 \Omega$ . Seluruh nilai tersebut berada jauh di bawah batas maksimum  $< 1 \Omega$  sesuai KEPDIR 0520-2.K/DIR/2014, sehingga sistem pentanahan LA dinyatakan sangat baik dan memenuhi persyaratan keandalan proteksi.

Secara teknis, rendahnya nilai tahanan ini menunjukkan bahwa jalur pentanahan masih mampu mengalirkan arus surja secara efisien. Dengan menggunakan prinsip dasar Hukum Ohm ( $V = I \cdot R$ ), semakin kecil nilai R maka semakin kecil pula tegangan sisa (*residual voltage*) yang muncul saat arus petir mengalir. Kondisi ini sangat penting untuk mencegah back flashover, yaitu loncatan balik yang dapat menimbulkan tegangan lebih berbahaya pada peralatan di gardu induk.

Nilai tahanan yang rendah juga mengindikasikan bahwa elektroda tanah, sambungan konduktor, dan sistem bonding masih memiliki integritas yang baik, tidak mengalami korosi signifikan, pengeringan tanah ekstrem, ataupun kenaikan impedansi akibat penuaan. Konsistensi nilai tahanan antar fasa menunjukkan bahwa jalur pentanahan bekerja seragam dan menjaga kondisi potensial tanah tetap ekuipotensial. Pengukuran dilakukan menggunakan *Earth Tester* dengan metode pengukuran tiga titik (*three-point method*) sesuai protokol pengujian sistem pentanahan, sehingga hasilnya reliabel dan sesuai standar inspeksi pemeliharaan peralatan proteksi tegangan tinggi.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan kegiatan kerja praktik industri serta hasil inspeksi dan pengujian *Lightning Arrester* (LA) pada Bay Penghantar 150 kV di Gardu Induk Paya Geli Selayang 1 ULTG Binjai, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. *Lightning Arrester* pada Bay Penghantar 150 kV di GI Paya Geli menggunakan arrester tipe ZnO (*gapless*) berhousing porselen, yang berfungsi sebagai proteksi utama terhadap surja petir dan *switching* pada sistem transmisi 150 kV untuk menjaga keandalan penyaluran daya.
- b. Pengujian tahanan isolasi dilakukan menggunakan insulation tester (megger) pada titik terminal atas-*ground*, terminal atas-bawah, dan terminal bawah-*ground*. Hasil pengukuran menunjukkan nilai tahanan isolasi berada pada rentang 78–234 GΩ, jauh melampaui batas standar  $>1 \text{ G}\Omega$ , sehingga kondisi dielektrik dan integritas internal MOV dinyatakan sangat baik tanpa indikasi degradasi.
- c. Pengujian tahanan pentanahan dilakukan menggunakan *Earth Tester* dengan metode tiga titik (*fall-of-potential*) tanpa mempengaruhi kontinuitas sistem proteksi. Hasil yang diperoleh yaitu  $0,21 \Omega$  (R),  $0,31 \Omega$  (S), dan  $0,34 \Omega$  (T), yang seluruhnya berada jauh di

bawah standar maksimum  $<1 \Omega$ , menandakan sistem *grounding* arrester sangat efektif dalam membuang arus surja ke tanah.

- d. Nilai resistansi tanah yang rendah memastikan tidak terjadinya residual voltage berlebih maupun risiko *back-flashover*, sehingga peralatan primer seperti trafo, PMT, dan busbar tetap terlindungi dari tegangan lebih impuls. Kondisi ini mempertegas bahwa jalur *grounding*, elektroda tanah, serta sambungan konduktor masih berada pada kondisi mekanis dan elektrik yang sangat baik.
- e. Secara keseluruhan, program pemeliharaan HAR dua tahunan terbukti efektif dalam memastikan keandalan *Lightning Arrester*. Seluruh parameter proteksi baik tahanan isolasi maupun tahanan pentanahan—berada dalam kondisi optimal, sehingga LA dinyatakan layak dan siap beroperasi sebagai perangkat proteksi utama pada jaringan transmisi 150 kV.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adam, R. A. (2022). *Analisis Kinerja Lightning Arrester (LA) Berdasarkan Arus Bocor Pada Gardu Induk 150 kV Solobaru PT. PLN (Persero) UPT Salatiga*. 1–68. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/2566/1709>
- Andari, R., Amalia, S., & Viandri, A. O. (2022). Analisis Pemeliharaan *Lightning Arrester* Pada Gardu Induk Gis Simpang Haru Padang. *Rang Teknik Journal*, 5(2), 220–224. <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3064>
- Annisa, L. S. (2024). Analisa Pengaruh Kelembaban Tanah Terhadap Tahanan Pentanahan Pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) Medan Denai Dengan Metode Fall-Of Potensial. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik*, 4, 126–129. <http://jurnalmahasiswa.umsu.ac.id/index.php/jimt>
- Barasa, M. C. M., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2020). Analisis Kinerja *Lightning Arrester* Pada Jaringan Transmisi 150 Kv Sistem Minahasa Khususnya Pada Penyulang Kawangkoan - Lopana. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 6(1), 7–14.
- Bonggas, L. T. (2016). Peralatan Tegangan tinggi. In A. M. Drajat & L. Simarmata (Eds.), *Pembangkitan Energi Listrik* (2nd ed.). Erlangga.
- Hajar, I., & Rahma, E. (2017). Kajian Pemasangan *Lightning Arrester* Pada Sisi HV Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168–179. <https://www.neliti.com/publications/269597/kajian-pemasangan-lightning-arrester-pada-sisi-hv-transformator-daya-unit-satu-g>
- IEEE. (1983). IEEE Industry Applications Society. Power System Technologies Committee. (1982). IEEE Recommended Practice for *Grounding* of Industrial and Commercial Power Systems. *Institute of Electrical & Electronics Engineers*, 142.
- Manihuruk, J., Simorangkir, T., & Sitanggang, N. L. (2021). *Studi Kemampuan Arrester Untuk Pengaman Transformator Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV*.
- Mauluddin, Y., Rahmawati, D., & Oktavianti, D. (2022). *Perencanaan Pemeliharaan Mesin Produksi dengan Menggunakan Total Productive Maintenance untuk Menjamin Kestabilan Proses Produksi*. 86–92.

- Murisal Asyadi, T., Fardesi, A., & Teknik Elektro, J. (2022). Pengaruh Tingkat Kedalaman Elektroda Terhadap Tahanan Pentanahan. *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, 2, 3–8.
- Nur Aiza, S. A. (2024). Pemeliharaan Shutdown Measurement Pada Peralatan Current Transformator Dan *Lightning Arrester* Pada Bay Line Kuta 2 Gardu Induk 150KV Sengkol. *Journal of Electrical Engineering and Information Technology*, 2(2), 8–14.
- Setiawan Indra. (2020). *Pengukuran Tahanan Isolasi Arrester 20 kV Di PT PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Medan Labuhan*. 1–31.
- Standar PLN. (2014). *Lightning Arrester*. In *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester*.
- Toyib, Zainuddin, M., Rusdiansyah, Bustani, & Bima, L. (2023). *Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 Kv Harapan Baru*. 1(2), 164–185.
- Utomo, R. M., Pandu, A., Suprihanto, D., Rumawan, F. H., & Mulawarman. (2023). *P-15 Analisis Tiga Level Inspeksi Peralatan Lightning Arrester Sebagai Pengaman Pada Unit Layanan Transmisi Dan Gardu Induk Tengkawang Analysis of Three Inspection Levels of Lightning Arrester Equipment As Safety in Tengkawang Transmission Service Units a*. 48–54.