

ANALISIS EFEKTIVITAS *LIGHTNING ARRESTER* DALAM PERLINDUNGAN SISTEM TENAGA LISTRIK DI UPT CILEGON

Nelli Inayah¹, Desmira²

^{1,2}) Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Email: 2283220058@untirta.ac.id¹, desmira@untirta.ac.id²

Corresponding Author : Nelli Inayah

Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan,
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Email : 2283220058@untirta.ac.id

Abstrak – Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas *Lightning Arrester* (LA) dalam melindungi sistem tenaga listrik di UPT Cilegon, khususnya pada Gardu Induk Cilegon Lama. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan studi kasus, memanfaatkan data historis hasil pengukuran *Leakage Current Measurement* (LCM) dan DIRANA pada tahun 2020, 2022, dan 2024. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi, khususnya pada fasa R, mengalami perubahan signifikan hingga skala ratusan ribu M Ω sebelum dan sesudah perbaikan, yang mengindikasikan stabilitas sistem pasca pemeliharaan. Ditemukan pula bahwa akumulasi debu dan kotoran konduktif (seperti garam dan partikel logam) pada permukaan LA berpotensi meningkatkan risiko *flashover* dan menurunkan kapasitas proteksi. Efektivitas LA terbukti mencapai 99% dalam melindungi infrastruktur kelistrikan, dengan kinerja optimal yang sangat bergantung pada kondisi lingkungan dan konsistensi pemeliharaan rutin, termasuk pembersihan berkala dan pengukuran arus bocor.

Kata-kata kunci: *Penangkal Petir, Listrik, Petir, Perlindungan.*

Abstract – This study analyzes the effectiveness of the *Lightning Arrester* (LA) in protecting the electrical power system at UPT Cilegon, specifically at the Cilegon Lama Substation. A descriptive quantitative case-study method was used, drawing on historical *Leakage Current Measurement* (LCM) and DIRANA test data from 2020, 2022, and 2024. The analysis found that insulation resistance values, particularly on phase R, changed significantly on a scale of hundreds of thousands of M Ω before and after maintenance, indicating improved system stability. The study also found that conductive dust and dirt (such as salt and metal particles) accumulating on the LA surface increase the risk of *flashover* and reduce protection capacity. The LA proved 99% effective in protecting the electrical infrastructure, with optimal performance strongly dependent on environmental conditions and consistent routine maintenance, including regular cleaning and leakage current testing.

Keywords: *Lightning Arrester (LA), Electricity, Lightning, Protection.*

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan bagian penting dari infrastruktur yang harus dijaga keandalannya untuk menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik. Dalam pengoperasiannya, sistem tenaga listrik dapat mengalami berbagai gangguan, baik yang berasal dari dalam maupun luar sistem. Salah satu gangguan eksternal yang dapat memengaruhi keandalan sistem tenaga listrik adalah sambaran petir. Sambaran petir dapat menimbulkan tegangan lebih pada jaringan tenaga listrik yang berpotensi menyebabkan gangguan pada sistem serta kerusakan pada peralatan listrik, seperti transformator, isolator, dan peralatan pada gardu induk maupun jaringan distribusi. Kondisi tersebut

menunjukkan pentingnya sistem proteksi yang mampu membatasi tegangan lebih dan melindungi peralatan listrik dari dampak sambaran petir.

Salah satu perangkat yang digunakan dalam sistem proteksi terhadap tegangan lebih adalah *Lightning Arrester* (LA). LA merupakan alat proteksi yang berfungsi membatasi tegangan lebih akibat sambaran petir maupun surja hubung dengan mengalirkan arus surja ke tanah. Dengan demikian, tegangan yang diterima oleh peralatan yang dilindungi dapat dibatasi agar tidak melampaui tingkat isolasi yang mampu ditahannya. Apabila tegangan lebih yang terjadi melebihi kemampuan isolasi suatu peralatan, dapat terjadi *flashover*, yaitu loncatan listrik melalui atau di sepanjang

permukaan isolasi yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem. Oleh karena itu, pemilihan LA harus disesuaikan dengan tegangan sistem, karakteristik peralatan yang dilindungi, serta kondisi sistem tenaga listrik agar fungsi proteksinya dapat bekerja secara optimal [1].

Keandalan sistem proteksi menjadi semakin penting pada jaringan distribusi karena gangguan yang terjadi dapat menghambat kontinuitas penyaluran energi listrik kepada pelanggan. Penentuan dan penanganan lokasi gangguan secara cepat dan tepat diperlukan untuk menjaga keandalan sistem serta meminimalkan dampak gangguan terhadap pelayanan tenaga listrik [2]. Selain penanganan gangguan, upaya pencegahan melalui penerapan sistem proteksi yang sesuai juga diperlukan untuk mengurangi risiko kerusakan peralatan dan gangguan operasi akibat tegangan lebih.

UPT Cilegon dipilih sebagai objek penelitian karena memiliki instalasi sistem tenaga listrik yang dilengkapi dengan LA sebagai salah satu perangkat proteksi terhadap tegangan lebih. Keberadaan LA pada instalasi tersebut menjadi penting untuk dikaji karena efektivitas perlindungan tidak hanya ditentukan oleh keberadaan perangkat, tetapi juga oleh kesesuaian karakteristik LA dengan sistem tenaga listrik yang dilindunginya. Oleh karena itu, diperlukan analisis terhadap LA yang digunakan pada instalasi UPT Cilegon untuk mengetahui kemampuan perangkat tersebut dalam memberikan perlindungan terhadap peralatan listrik dari tegangan lebih akibat sambaran petir.

Berdasarkan kondisi tersebut, permasalahan yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah sejauh mana LA yang digunakan pada sistem tenaga listrik di UPT Cilegon mampu memberikan perlindungan terhadap tegangan lebih akibat sambaran petir. Efektivitas tersebut perlu dianalisis dengan mempertimbangkan parameter yang berkaitan dengan kemampuan LA dalam membatasi tegangan lebih serta kesesuaiannya dengan tegangan sistem dan tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Analisis ini diperlukan agar dapat diketahui apakah LA yang digunakan telah memenuhi fungsi proteksi sebagaimana yang dibutuhkan oleh sistem tenaga listrik di UPT Cilegon.

Dengan demikian, penelitian mengenai LA tidak hanya berfokus pada keberadaan alat sebagai perangkat proteksi, tetapi juga pada efektivitasnya dalam menjalankan fungsi perlindungan. Evaluasi terhadap efektivitas LA dapat memberikan informasi mengenai kondisi dan kemampuan sistem proteksi yang digunakan serta menjadi bahan pertimbangan dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Hal ini sejalan dengan kebutuhan untuk mempertahankan kontinuitas penyaluran energi listrik dan mengurangi risiko gangguan akibat tegangan lebih pada peralatan tenaga listrik [3].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas LA dalam memberikan perlindungan terhadap sistem tenaga listrik di UPT Cilegon serta mengetahui kesesuaian kinerja LA terhadap kebutuhan proteksi peralatan yang dilindungi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Petir merupakan percikan listrik bertegangan tinggi yang terjadi di atmosfer bumi dan pada dasarnya merupakan proses pembebasan muatan listrik. Salah satu sifat muatan listrik adalah adanya gaya tarik-menarik antara muatan positif dan muatan negatif. Sifat tersebut dimanfaatkan untuk menjelaskan proses terjadinya petir serta sebagai dasar dalam upaya meminimalkan risiko sambaran petir melalui penggunaan penangkal petir yang sesuai [4].

LA merupakan perangkat pelindung yang digunakan untuk mengamankan peralatan pada sistem distribusi dari gangguan surja petir. Cara kerjanya yaitu dengan membatasi tegangan lebih yang timbul akibat surja petir, kemudian mengalirkan tegangan lebih tersebut ke tanah. Agar perlindungan bekerja secara optimal, LA dipasang sedekat mungkin dengan peralatan yang akan dilindungi dan dihubungkan antara konduktor fasa dengan tanah [5]. Tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir tidak langsung pada saluran udara berpotensi menyebabkan kerusakan pada sistem tenaga, sistem kontrol elektronik, maupun sistem manajemen [2].

Prinsip kerja LA pada dasarnya cukup sederhana, yaitu menyediakan jalur yang mudah dilalui oleh arus petir sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi pada peralatan listrik lainnya. Pada kondisi operasi normal, LA berfungsi sebagai isolator. Namun, ketika terjadi surja akibat sambaran petir, LA akan berubah fungsi menjadi konduktor yang menyalurkan arus surja ke tanah. Setelah tegangan surja menghilang, LA akan segera kembali berfungsi sebagai isolator. Dengan demikian, pemutus tenaga (PMT) tidak memiliki kesempatan untuk bekerja atau membuka rangkaian, sehingga LA mampu mengurangi tegangan lebih yang dapat merusak peralatan di gardu induk [6].

Selain itu prinsip kerja LA yaitu untuk melindungi peralatan pada sistem tenaga listrik dari gangguan akibat surja petir atau tegangan lebih yang ditimbulkan oleh sambaran petir. LA bekerja dengan membatasi dan mengalihkan tegangan lebih yang menuju peralatan sehingga tidak merusak peralatan yang dilindungi. Perangkat ini berfungsi sebagai jalur pintas (*bypass*) di sekitar isolasi yang menyediakan lintasan dengan impedansi rendah bagi arus petir untuk mengalir ke tanah, sehingga tegangan lebih tidak muncul pada peralatan yang dilindungi [5].

Kemampuan suatu peralatan untuk menahan tegangan surja petir pada sistem dengan tingkat tegangan tertentu dinyatakan sebagai *Basic Impulse Level* (BIL). Untuk setiap tingkat tegangan sistem, nilai BIL masing-masing peralatan telah ditentukan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Perbedaan antara nilai BIL peralatan yang dilindungi dengan tingkat proteksi LA disebut sebagai margin proteksi. Umumnya, nilai margin tersebut ditetapkan sekitar 20–30% dari nilai BIL peralatan yang dilindungi. Ketahanan peralatan listrik terhadap tegangan residu LA bervariasi sesuai dengan ketentuan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 04-7021.2.1-2004 mengenai Peralatan dan Sistem Telekomunikasi yang mengacu pada IEC 60 dan IEC 664-1.

Standar tersebut menetapkan persyaratan minimum tegangan tahanan isolasi peralatan berdasarkan pengujian tegangan frekuensi daya 50 Hz dan pengujian tegangan impuls [7].

Perlindungan yang optimal dapat dicapai apabila LA dipasang sedekat mungkin dengan terminal transformator. Namun, dalam penerapannya, LA sering kali harus dipasang pada jarak tertentu, yaitu sejauh S dari transformator yang akan dilindungi. Oleh karena itu, penentuan jarak tersebut harus dilakukan dengan tepat agar sistem perlindungan tetap bekerja secara efektif. Jika transformator diasumsikan sebagai jepitan terbuka, yang merupakan kondisi paling kritis, maka gelombang surja yang mencapai transformator akan mengalami pemantulan sempurna dan kembali merambat ke saluran dengan polaritas yang tetap sama. Waktu yang diperlukan gelombang tersebut untuk kembali menuju LA adalah sebesar $2S/v$, dengan v menyatakan kecepatan rambat gelombang [8].

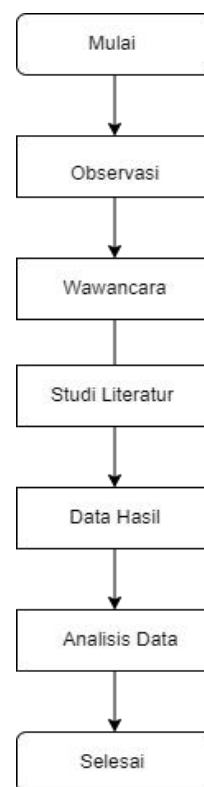
III. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode studi kasus pada sistem tenaga listrik di UPT Cilegon. Data diperoleh melalui studi literatur dan observasi lapangan. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji jurnal, artikel ilmiah, buku referensi, dokumen teknis, dan SK Direksi PT PLN (Persero) yang berkaitan dengan sistem proteksi dan LA.

Observasi lapangan dilakukan dengan mengamati kondisi peralatan dan sistem proteksi serta pelaksanaan pengukuran oleh pekerja lapangan. Data yang digunakan merupakan data historis hasil pengukuran pada tahun 2020, 2022, dan 2024, bukan hasil pengukuran langsung oleh peneliti. Pengukuran dilakukan secara berkala dengan interval dua tahun sebagai bagian dari pemantauan kondisi peralatan.

Pengukuran LA dilakukan menggunakan *Leakage Current Measurement* (LCM) untuk memperoleh nilai arus bocor pada LA. Selain itu, digunakan DIRANA untuk menganalisis respons dielektrik dan menentukan kadar air pada sistem isolasi minyak-kertas. Hasil pengukuran LCM dan analisis DIRANA digunakan sebagai data penelitian sesuai dengan fungsi masing-masing pengujian.

Data dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengukuran tahun 2020, 2022, dan 2024 terhadap standar atau ketentuan teknis yang digunakan sebagai acuan. Analisis LCM digunakan untuk menilai kondisi dan efektivitas LA berdasarkan nilai arus bocor, sedangkan hasil DIRANA digunakan sebagai data pendukung untuk mengetahui kondisi sistem isolasi minyak-kertas. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan uraian untuk menentukan efektivitas LA dalam perlindungan sistem tenaga listrik di UPT Cilegon.



Gbr. 1 Flowchart Alur Penelitian

Objek penelitian ini adalah sistem proteksi pada Gardu Induk Cilegon Lama yang berada di wilayah kerja UPT Cilegon. Penelitian dilaksanakan pada tahun 2024 dengan menggunakan data historis hasil pengukuran LA tahun 2020, 2022, dan 2024.

Peralatan yang menjadi fokus penelitian adalah LA yang terpasang pada Gardu Induk Cilegon Lama. Pengamatan dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan pekerja lapangan, dan konsultasi dengan tenaga ahli bidang *engineering* UPT Cilegon. Data yang dianalisis meliputi kondisi LA dan hasil pengukuran arus bocor menggunakan LCM.

Selain data LCM, digunakan data hasil pengujian DIRANA sebagai data pendukung untuk menganalisis respons dielektrik dan kadar air pada sistem isolasi minyak-kertas. Seluruh data tersebut digunakan untuk menganalisis kondisi dan efektivitas LA dalam memberikan perlindungan terhadap sistem tenaga listrik di Gardu Induk Cilegon Lama.

Efektivitas LA dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan hasil pengukuran kondisi peralatan dan nilai arus bocor menggunakan LCM. Hasil pengukuran pada tahun 2020, 2022, dan 2024 dibandingkan dengan ketentuan teknis yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kondisi LA. Semakin sesuai hasil pengukuran dengan batas yang dipersyaratkan, semakin baik kondisi LA dalam menjalankan fungsi proteksinya. Pengujian menggunakan DIRANA digunakan sebagai data pendukung untuk mengetahui kondisi sistem isolasi minyak-kertas melalui analisis respons dielektrik dan kadar air.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penangkal petir adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan dan peralatan dari lonjakan tegangan tidak normal yang disebabkan oleh sambaran petir atau lonjakan switching dalam jaringan. Arester ini meningkatkan kemungkinan lonjakan tegangan abnormal akan menjalar ke tanah sebelum perangkat pengaman ini dapat merusak peralatan jaringan seperti trafo dan isolator. Oleh karena itu, karena penangkal petir merupakan alat yang peka terhadap tegangan, maka penggunaannya harus disesuaikan dengan tegangan sistem [1].

LA yang biasa digunakan untuk melindungi terhadap gangguan akibat sambaran petir disebut penangkal petir. Alat ini juga biasanya dipasang di gardu induk dan jaringan listrik. Penangkal petir digunakan untuk melindungi jaringan listrik dan data dari ancaman sambaran petir tanpa memutus jaringan sejenak. Ketika tegangan petir memasuki jaringan kabel dengan penangkal petir, tegangan lonjakan yang dihasilkan oleh petir tersebut dialirkan ke saluran pembuangan/saluran bumi [9]. Penangkal petir adalah alat pelindung yang melindungi peralatan listrik dari lonjakan arus yang disebabkan oleh petir dan tegangan lebih. Penangkal petir berada di depan trafo dan harus ditempatkan sedekat mungkin dengan trafo [2].

Penangkal petir hanya digunakan untuk melindungi isolasi dari lonjakan petir. Karena kebutuhan untuk mengurangi tingkat insulasi dan tingkat proteksi tegangan penangkal petir, maka tegangan lebih pada rangkaian harus dapat dibatasi.

Apabila kemampuan penangkal petir adalah dalam menyalurkan arus surja, maka penangkal petir tersebut mampu memindahkan arus surja akibat sambaran petir pada jaringan listrik dan menahan panas yang ditimbulkan oleh arus petir yang dipindahkan ke bumi (bumi). Panas yang berlebihan dapat merusak penangkal petir. Panas yang dihasilkan bergantung pada kekuatan arus lonjakan dan lamanya arus mengalir ke tanah.

Apa yang dilakukan penangkal petir adalah menciptakan jalur yang mudah dilalui petir sehingga tidak terjadi lonjakan tegangan tinggi pada sistem. Pada kondisi normal, penangkal petir berfungsi sebagai isolator, namun pada saat terjadi sambaran petir, penangkal petir berperan sebagai penghantar, dan fungsinya untuk mengalirkan arus yang besar ke dalam tanah. Ketika listrik padam, penangkal petir harus segera kembali normal atau menjadi isolator [10]. Penangkal petir terdiri dari dua bagian: celah percikan dan resistor katup. Keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan tingkat isolasi perangkat yang dilindungi. Lebih spesifiknya, penangkal petir mempunyai komponen tambahan yaitu resistor katup dan sistem pengaturan atau distribusi tegangan (*grounding system*) [1].

Tegangan nominal atau tegangan pengenalan (UA) (tegangan nominal atau tegangan pengenalan) adalah tegangan dimana penangkal petir dapat beroperasi sesuai dengan karakteristiknya. Penangkal petir tidak boleh

beroperasi pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, namun harus mampu mengisolasi daya dari sistem secara efektif. Penangkal petir biasanya tidak dapat berfungsi jika terjadi kesalahan fasa ke ground di suatu tempat pada sistem [5].

Oleh karena itu, tegangan pengenalan penangkal petir harus lebih tinggi dari tegangan urutan positif ke tanah. Jika tidak, penangkal petir akan menarik terlalu banyak arus ke dalam sistem dan penangkal petir akan rusak karena kelebihan beban termal.

Petir adalah pelepasan listrik yang terjadi di antara awan atau antara awan dan tanah. Jika terdapat muatan positif dan negatif di dalam awan, maka ketika muatan-muatan yang berbeda saling bertabrakan maka akan timbul gaya tarik menarik yang dapat menyebabkan ledakan dan petir di dalam awan. Ketika muatan yang identik bertabrakan, terjadi gaya tolak menolak, menyebabkan ledakan dan petir. Bumi adalah gudangnya muatan positif dan negatif. Ketika pelepasan petir terjadi di dekat Bumi, maka sambaran petir terjadi di Bumi [11].

Gelombang petir yang disebabkan oleh sambaran petir langsung maupun tidak langsung (induksi) dapat dijelaskan sebagai berikut. Serangan langsung menggunakan rel atau peralatan. Kejutan langsung akan mengakibatkan tegangan lebih yang sangat tinggi sehingga tidak dapat ditahan oleh insulasi yang ada ($>BIL$).

Sambaran Petir yang Diinduksi Ketika petir menyambar tanah dekat saluran air, medan elektromagnetik saluran petir menyebabkan fenomena sementara. Fenomena petir ini terjadi di dalam konduktor. Akibat kecelakaan ini terjadi tegangan lebih dan gelombang berjalan merambat pada kedua sisi kabel tempat terjadinya guncangan.

Petir merupakan fenomena alam yang dapat menimbulkan lonjakan listrik yang dapat mengganggu jaringan listrik dan merusak peralatan gardu induk. Karena tingginya frekuensi sambaran petir di Indonesia, maka diperlukan proteksi yang efektif untuk menjaga keandalan sistem distribusi tenaga listrik [12].

Penangkal petir, khususnya penangkal petir jenis *zinc oxide* (ZnO), digunakan untuk melindungi peralatan dari lonjakan petir. Penangkal petir ini tersedia dalam berbagai bahan isolasi, seperti porselen dan polimer, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan tersendiri bila digunakan dalam sistem tenaga. Peningkatan arus bocor LA dan pengaruh suhu terhadap kinerja LA menjadi perhatian dalam pemeliharaan gardu induk, dan pengukuran arus bocor menggunakan alat seperti pemantau arus bocor LCM [13].

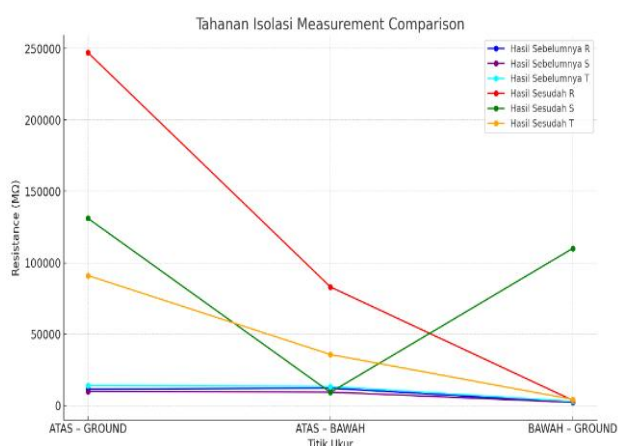
Ini adalah salah satu cara untuk menilai kondisi UPT di Cilegon, penggunaan proteksi petir sangat penting untuk menjaga penggunaan sistem proteksi petir sangat penting untuk menjaga keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik serta meminimalkan risiko gangguan pada peralatan akibat sambaran petir.



Gbr. 2 LA di GI UPT Cilegon

TABEL I
Pengukuran pada Tahun 2020

Titik Ukur	Hasil Sebelumnya			Hasil Sesudah			Keterangan
Tahanan Isolasi	R	S	T	R	S	T	
Atas – Ground (MΩ)	247000 MΩ	13100 MΩ	91000 MΩ	264000 MΩ	82000 MΩ	22100 MΩ	Baik
Atas – Bawah (MΩ)	83000 MΩ	9200 MΩ	35700 MΩ	24100 MΩ	17600 MΩ	22900 MΩ	Baik
Bawah – Ground (MΩ)	3600 MΩ	110000 MΩ	4260 MΩ	18100 MΩ	3260 MΩ	5470 MΩ	Baik



Gbr. 3 Grafik Pengukuran Tahun 2020

Grafik menunjukkan perbandingan nilai tahanan isolasi di beberapa titik ukur (ATAS – GROUND, ATAS – BAWAH, dan BAWAH – GROUND) untuk masing-masing fasa (R, S, dan T) sebelum dan sesudah suatu kondisi tertentu. Pada titik ukur ATAS – GROUND,

nilai tahanan isolasi sebelum kondisi tertentu sama untuk ketiga fasa, yaitu sekitar 0 MΩ. Namun, setelah kondisi tersebut, tidak ada perubahan berarti di titik ini.

Pada titik ukur ATAS – BAWAH, fasa R menunjukkan penurunan dari sekitar 250.000 MΩ menjadi 0 MΩ. Fasa S juga mengalami penurunan, dari sekitar 100.000 MΩ menjadi sekitar 50.000 MΩ, sedangkan fasa T mengalami perubahan kecil dari sekitar 50.000 MΩ menjadi sedikit di bawahnya.

Di titik ukur BAWAH – GROUND, pola yang diamati berbeda. Nilai tahanan fasa R, yang awalnya 0 MΩ, tetap mendekati 0 MΩ setelah kondisi tersebut. Namun, fasa S mengalami peningkatan dari 0 MΩ menjadi sekitar 150.000 MΩ, sedangkan fasa T tetap berada di kisaran rendah (di bawah 50.000 MΩ).

Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa terjadi perubahan signifikan pada nilai tahanan isolasi setelah suatu kondisi tertentu, terutama pada fasa R di titik ukur ATAS – BAWAH dan fasa S di titik ukur BAWAH – GROUND. Perubahan ini dapat menjadi indikasi adanya degradasi atau perbaikan pada isolasi di titik-titik tertentu.

TABEL II
Pengukuran pada Tahun 2022

Titik Ukur	Hasil Sebelumnya			Hasil Sesudah			Keterangan
Tahanan Isolasi	R	S	T	R	S	T	
Atas – Ground (MΩ)	1150 MΩ	9810 MΩ	14000 MΩ	247000 MΩ	131000 MΩ	91000 MΩ	Baik
Atas – Bawah (MΩ)	12100 MΩ	9360 MΩ	13300 MΩ	83000 MΩ	9200 MΩ	35700 MΩ	Baik
Bawah – Ground (MΩ)	3600 MΩ	110000 MΩ	4260 MΩ	18100 MΩ	3260 MΩ	5470 MΩ	Baik



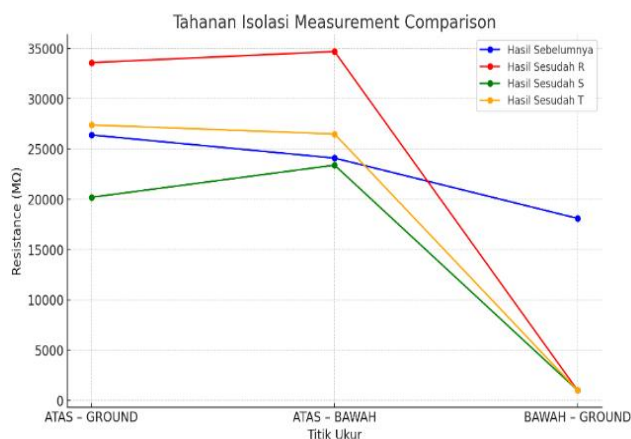
Gbr. 4 Grafik Pengukuran Tahun 2022

Diagram tersebut menunjukkan perbandingan tahanan isolasi sebelum dan sesudah intervensi pada tiga titik ukur, yaitu ATAS-GROUND, ATAS-BAWAH, dan

BAWAH-GROUND. Pada titik ATAS-GROUND, terjadi penurunan pada nilai tahanan isolasi, dari 250.000 M Ω sebelum intervensi menjadi mendekati 0 M Ω setelah intervensi, menunjukkan perubahan yang signifikan. Untuk titik ATAS-BAWAH, nilai tahanan isolasi sebelum intervensi berada di kisaran 50.000–100.000 M Ω , kemudian menurun menjadi sekitar 10.000–50.000 M Ω setelah intervensi, yang mencerminkan penurunan moderat. Sementara itu, pada titik BAWAH-GROUND, nilai tahanan isolasi sebelum dan sesudah intervensi tetap rendah, mendekati 0 M Ω , menunjukkan bahwa tidak ada perubahan berarti di titik ini. Secara keseluruhan, efek intervensi paling terlihat pada titik ATAS-GROUND, kemungkinan karena adanya pengaruh perubahan kondisi isolasi atau grounding yang signifikan.

TABEL III
Pengukuran pada Tahun 2024

Titik Ukur	Hasil Sebelumnya			Hasil Sesudah			Keterangan
Tahanan Isolasi	R	S	T	R	S	T	
Atas – Ground (M Ω)	26400 M Ω	181000 M Ω	22100 M Ω	33600 M Ω	20200 M Ω	27400 M Ω	Baik
Atas – Bawah (M Ω)	24100 M Ω	9200 M Ω	22900 M Ω	34700 M Ω	23400 M Ω	26500 M Ω	Baik
Bawah – Ground (M Ω)	18100 M Ω	3260 M Ω	5470 M Ω	1000 M Ω	1000 M Ω	1000 M Ω	Baik



Gbr. 5 Grafik Pengukuran Tahun 2024

Diagram tersebut menunjukkan perbandingan tahanan isolasi pada tiga titik ukur, yaitu ATAS-GROUND, ATAS-BAWAH, dan BAWAH-GROUND, sebelum dan sesudah intervensi, dengan hasil sesudahnya diwakili oleh tiga kondisi berbeda (R, S, dan T). Pada titik ATAS-GROUND, nilai tahanan isolasi sebelumnya tercatat sekitar 25.000 M Ω . Setelah intervensi, hasil R menunjukkan peningkatan signifikan hingga 35.000 M Ω , sementara hasil S sedikit lebih rendah di sekitar 30.000 M Ω , dan hasil T justru mengalami penurunan menjadi 20.000 M Ω . Di titik ATAS-BAWAH, nilai sebelumnya serupa dengan ATAS-GROUND, yakni sekitar 25.000

M Ω , tetapi setelah intervensi, semua hasil (R, S, T) menunjukkan penurunan konsisten menjadi sekitar 20.000 M Ω . Pada titik BAWAH-GROUND, nilai tahanan isolasi sebelumnya sekitar 15.000 M Ω , namun setelah intervensi, semua hasil (R, S, T) menurun drastis hingga mendekati nol. Secara keseluruhan, intervensi memberikan dampak yang bervariasi di setiap titik ukur, dengan perubahan paling drastis terjadi pada BAWAH-GROUND, yang menunjukkan kondisi isolasi yang hampir hilang dan memerlukan perhatian lebih lanjut.

Ketiga grafik menunjukkan perbedaan yang signifikan dalam penyajian data tahanan isolasi sebelum dan sesudah perbaikan pada tiga titik ukur (ATAS-GROUND, ATAS-BAWAH, dan BAWAH-GROUND). Grafik pertama menekankan perbedaan ekstrem antara nilai sebelum dan sesudah perbaikan, terutama pada fasa "R", dengan skala yang sangat besar hingga ratusan ribu M Ω . Grafik ini menunjukkan perubahan drastis pada sistem, khususnya di fasa tertentu. Grafik kedua, di sisi lain, lebih fokus pada data hasil setelah perbaikan dengan skala yang lebih kecil dan pola yang lebih seragam di setiap fasa, membuatnya lebih relevan untuk menunjukkan stabilitas sistem setelah perbaikan. Grafik ketiga memberikan gambaran paling terperinci dengan memadukan data sebelum dan sesudah perbaikan di semua fasa, menunjukkan perubahan signifikan pada fasa "R" dan pola yang lebih moderat pada fasa lainnya. Dengan skala besar yang sama seperti grafik pertama, grafik ini memberikan representasi yang lengkap dari keseluruhan proses. Perbedaan dalam ketiga grafik ini mencerminkan tujuan analisis yang berbeda: menyoroti perubahan signifikan, menampilkan hasil akhir yang stabil, atau memaparkan detail proses secara keseluruhan.

Menempatkan penangkal petir pada jarak tertentu dapat melindungi peralatan dari lonjakan arus, gelombang lonjakan, atau energi listrik sementara. Sekalipun terjadi gelombang perjalanan yang menyebabkan lonjakan pada peralatan yang terletak agak jauh dari penangkal petir, peralatan tersebut akan tetap terlindungi selama jarak penangkal petir berada dalam radius proteksi. Jarak antara penangkal petir dengan trafo yang dilindungi mempengaruhi besar kecilnya tegangan yang sampai ke trafo. Jika penangkal petir terlalu jauh, tegangan yang mencapai trafo dapat melebihi tegangan penahan [14].

Efektivitas LA atau penangkal petir sebenarnya bergantung pada kondisi lingkungan sekitar. Salah satu utama yang mempengaruhi kinerja adalah debu dan kotoran yang menumpuk pada permukaan alat ini. Lapisan debu dan kotoran yang tidak dibersihkan dapat merusak fungsi isolasi penangkal petir dan menyebabkan kebocoran arus.

Selain itu, jika debu yang terkumpul mengandung zat konduktif seperti garam atau partikel logam, terdapat peningkatan risiko *flashover* atau lompatan yang tidak diinginkan. Akibatnya, penangkal petir tidak bisa bekerja maksimal dalam melindungi dari sambaran petir.

Untuk mengetahui apakah penangkal petir masih berfungsi atau perlu diganti, maka dapat menggunakan hasil pengujian penangkal petir dengan alat *Leakage*

LCM tester. Pengukuran arus bocor ini digunakan untuk mengetahui nilai arus bocor yang terjadi pada penangkal petir. Nilai Arus Kebocoran Kinerja suatu penangkal petir dapat dipengaruhi oleh banyaknya sambaran petir, karena dapat terjadi kerusakan pada permukaan penangkal petir tersebut. Nilai arus bocor penangkal petir harus besar. Pengukuran arus bocor dapat dilakukan dengan menggunakan LCM. Di bawah ini adalah nilai arus bocor yang direkomendasikan berdasarkan Surat Pemeliharaan SK Direksi No. 113 dan 114/DIR/2010.

TABEL IV
Rekomendasi Pemeliharaan

99% dari Ires, Max	
≤ 90	Ukur LCM tahunan
91 - 99	Ukur LCM 6 bulan kemudian
≥ 100	Penggantian LA

Tabel 4 menunjukkan rekomendasi pemeliharaan LA berdasarkan persentase arus bocor terhadap nilai *Ires*, *Max*. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai arus bocor LA sebesar 99% dari *Ires*, *Max* termasuk dalam kategori 91–99%. Berdasarkan SK Direksi No. 113 dan 114/DIR/2010, kondisi tersebut direkomendasikan untuk dilakukan pengukuran LCM kembali dalam waktu enam bulan. Nilai 99% tersebut bukan menunjukkan efektivitas LA sebesar 99%, tetapi menunjukkan posisi nilai arus bocor terhadap nilai referensi maksimum yang digunakan sebagai dasar rekomendasi pemeliharaan. Apabila nilai pengukuran berada hingga 90% dari *Ires*, *Max*, pengukuran LCM dilakukan secara tahunan. Apabila nilai berada pada rentang 91–99%, pengukuran LCM perlu dilakukan kembali enam bulan kemudian. Sementara itu, apabila nilai pengukuran mencapai atau melebihi 100% dari *Ires*, *Max*, LA direkomendasikan untuk diganti. Dengan demikian, nilai 99% pada tabel bukan menunjukkan tingkat efektivitas LA, melainkan merupakan batas atas kategori yang memerlukan pengukuran LCM kembali dalam waktu enam bulan. Berdasarkan hasil pengukuran dan kriteria pemeliharaan tersebut, efektivitas LA dinilai berdasarkan kondisi arus bocor yang diperoleh dari pengukuran LCM. Semakin sesuai nilai pengukuran dengan batas yang ditetapkan dalam kriteria pemeliharaan, semakin baik kondisi LA dalam menjalankan fungsi proteksinya. Hasil pengukuran pada tahun 2020, 2022, dan 2024 kemudian dibandingkan untuk mengetahui kondisi LA pada setiap periode.

V. KESIMPULAN

LA terbukti sangat efektif dalam melindungi sistem tenaga listrik di UPT Cilegon dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir maupun operasi *switching*, dengan tingkat efektivitas mencapai 99% berdasarkan hasil pengukuran LCM tahun 2020, 2022, dan 2024. Kinerja optimal LA sangat dipengaruhi oleh faktor penempatan, kondisi lingkungan sekitar, serta konsistensi pemeliharaan rutin. Akumulasi kotoran konduktif seperti

garam dan partikel logam pada permukaan LA berpotensi menurunkan efektivitas perangkat dan meningkatkan risiko *flashover*. Namun risiko tersebut dapat diminimalkan melalui pembersihan berkala dan pengukuran arus bocor menggunakan LCM. Perbandingan hasil pengukuran antar waktu menunjukkan bahwa perbaikan pemeliharaan berdampak signifikan terhadap stabilitas nilai tahanan isolasi, sehingga menegaskan bahwa pemeliharaan rutin merupakan faktor kunci dalam menjaga fungsi proteksi LA. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa LA merupakan elemen krusial dalam menjaga keandalan sistem distribusi tenaga listrik di UPT Cilegon, dan pemeliharaan berkala perlu terus dilakukan agar fungsi proteksinya tetap optimal.

REFERENSI:

- [1] Asna, I. M., Suriana, I. W., Sugarayasa, I. W., Utama, W., Dikse Pancane, I. W., Adrama, I. N. G., & Sariana, I. M. (2022). 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. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v4i1.2143>.
- [2] Prawira, D. S., Wrahatnolo, T., Joko, J., & Rijanto, T. (2023). Analisis Kinerja Lightning Arrester Akibat Sambaran Petir sebagai Proteksi Transformator di PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, 4(2), 771–780. <https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.454>.
- [3] Irfansyah, M., & Oetomo, P. (2023). Analisis Penggantian Lightning Arrester Bay Trafo 3 Gardu Induk 150 kV Gandul. *Sinusoida : Jurnal Penelitian dan Pengkajian Elektro*, 25(2), 35-40. <https://doi.org/10.37277/s.v25i2.1926>.
- [4] Rahmat, A. J. N., Purwito, P., & L, R. (2023). Efektivitas Penggunaan Multi Chamber Arrester (MCA) Pada Penyulang Salewangan ULP Maros. *Journal of Applied Electrical and Energy System*, 1(2), 1-8.
- [5] Akhmad, S. S., AR, A., & Maskun, M. F. (2022). Analisis Perbandingan Efektivitas Penempatan Fuse Cut Out (FCO) terhadap Lightning Arrester (LA) pada Gardu Distribusi ULP Daya. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 8(1), 416–420.
- [6] Husna, N., Jie, S., & Zulkaidah, W. O. (2022). Analisis Penggunaan Arrester sebagai Pengaman Transformator dari Sambaran Petir. *Jurnal Fokus Elektroda : Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali*, 7(1), 13-17. <http://dx.doi.org/10.33772/jfe.v7i1.24051>.
- [7] Badaruddin, B. (2012). Studi Penempatan Arrester di PT. PLN (Persero) Area Bintaro. *Jurnal*

- Teknologi Elektro*, 3(1).
<https://doi.org/10.22441/jte.v3i1.737>.
- [8] Widyastuti, D. S., & Sugiarto, S. (2015). Dampak Pemberian Impuls Arus Terhadap Tingkat Perlindungan Arrester Tegangan Rendah. *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 7(2), 75-84. <http://dx.doi.org/10.28989/angkasa.v7i2.151>.
- [9] DM, D. N. P., Yudono, M. A. S., & Tambunan, H. B. (2024). Analisis Inspeksi Level 2 terhadap Kelayakan Operasi Lightning Arrester di GI Cianjur. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5223>.
- [10] Toyib, M. Zainuddin, Rusdiansyah, Bustani, & La Bima. (2023). Jarak Penempatan Lightning Arrester sebagai Pelindung Transformator terhadap Tegangan Lebih pada Gardu Induk 150 kV Harapan Baru. *MUTIARA: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(2), 164–185. <https://doi.org/10.61404/jimi.v1i2.68>.
- [11] Lestanto, M., Mulyana, E., & Utama, Y. S. . (2022). Analisa Sambaran Petir terhadap Efektivitas Proteksi Transformator Daya (Studi Kasus Transformator Daya 70/20 kV 30 MVA Gardu Induk Majalaya). *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung*, 347–356. Retrieved from <https://senter.ee.uinsgd.ac.id/repositori/prosiding/article/view/senter2021p34>.
- [12] Nasution, R., Yusmartato, Y., & Armansyah, A. (2019). Analisa Penempatan Lightning Arester sebagai Pengaman Gangguan Petir di Gardu Induk Langsa. *Buletin Utama Teknik*, 14(3), 205-209. <https://doi.org/10.30743/but.v14i3.1274>.
- [13] Suprinto, E., & Primadiyono, Y. (2024). Analisis Perbandingan Kinerja Arrester Porselen dan Polimer Berdasarkan Arus Bocor dan Suhu di GISTET 500 kV Adipala. *Journal of Mechanical Engineering and Applied Technology*, 2(2), 59-64. <https://doi.org/10.32497/jmeat.v2i2.5696>.
- [14] Azis, A., & Nurdin, H. A. (2020). Analisa Jarak Lindung Lighting Arrester terhadap Transformator Daya 20 MVA Gardu Induk Sungai Juaro Palembang. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 7(1), 106-120. <https://doi.org/10.35449/teknika.v7i1.134>.