

Analisis Pemeliharaan Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek

Analysis of Lightning Arrester Maintenance on Transformer Bay 3 at the 150 kV Rancaekek Substation

Affan Tsabit^{1*}, Yudha Pratama Simamora², Eki Ahmad Zaki Hamidi³, Teddy Yusuf⁴
^{1,3,4}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jln. AH Nasution 105 Bandung 40614
² PT. PLN (Persero) ULTG Bandung Timur
Cihanjuang, Kec. Cimanggung, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat 45364
affantsabit03@gmail.com^{1*}, yudha.p@pln.co.id², ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id³,
chomsky_si@yahoo.com⁴

Abstrak – Untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik, diperlukan peralatan proteksi yang mampu melindungi komponen dari gangguan. Salah satunya adalah lightning arrester, yang berfungsi melindungi sistem dari tegangan lebih akibat surja petir maupun surja hubung. Agar kinerjanya tetap optimal, perangkat ini harus menjalani pemeliharaan dan pengujian berkala. Preventive maintenance umumnya dilakukan setiap dua tahun untuk menjaga performa peralatan sekaligus mencegah kerusakan mendadak. Pemeliharaan lightning arrester meliputi beberapa kegiatan penting, yaitu pembersihan peralatan, pengujian tahanan isolasi, dan pengujian tangen delta. Pembersihan bertujuan menghilangkan kotoran yang dapat mengganggu fungsi isolasi. Pengujian tahanan isolasi menilai kemampuan menahan tegangan lebih, sedangkan pengujian tangen delta mengevaluasi kualitas dielektrik bahan isolasi. Hasil pengujian dibandingkan dengan data sebelumnya guna mendeteksi penurunan performa. Jika terjadi penyimpangan, maka dilakukan analisis lebih lanjut atau perawatan tambahan. Laporan ini disusun berdasarkan kegiatan Praktik Industri di Bay Trafo 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek, dengan fokus pada pemeliharaan dan pengujian lightning arrester sebagai upaya menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Kata Kunci: Lightning arrester, pemeliharaan preventif, pengujian tahanan isolasi, pengujian tangen delta, sistem tenaga listrik.

Abstract – Substation, designed to safeguard the power system from voltage surges caused by lightning strikes or switching operations. Over time, LAs may undergo degradation, indicated by an increase in resistive leakage current that reflects the internal health condition of the device. This study aims to evaluate the feasibility of the LAs through resistive leakage current measurements using a Leakage Current Monitor (LCM) at the 150 kV Cigereleng Substation, PT PLN (Persero). The measurement data were compared with the standard limits specified in PLN guidelines and manufacturer specifications to determine the serviceability status of each LA unit. The results show that most LA units remain within the safe limit (below 150 μ A for 150 kV), although some units exhibit signs of performance degradation that require further monitoring or replacement. This study contributes to assessing the reliability of the protection system in substations.

Keywords: Lightning arrester, preventive maintenance, insulation resistance testing, tan delta testing, power system, surge voltage, Rancaekek Substation, system reliability, insulation quality

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu negara dengan populasi terbesar di dunia, Indonesia memiliki kebutuhan energi listrik yang meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan perkembangan industri. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik tersebut Indonesia mengandalkan sumber daya alamnya yang melimpah sebagai sumber energi pada pembangkit listrik. Setelah listrik dibangkitkan proses transmisi listrik merupakan salah satu tahapan penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mentransmisikan listrik dari pembangkit ke Gardu Induk[1].

Dibandingkan dengan kendaraan konvensional, kendaraan listrik merupakan salah satu teknologi yang paling menguntungkan bagi lingkungan [2]. Sepeda motor listrik dianggap sebagai inovasi baru yang menguntungkan lingkungan. Sepeda motor listrik dianggap sebagai solusi berkelanjutan untuk mengatasi pencemaran lingkungan dan kelangkaan energi di seluruh dunia. Sepeda motor listrik memiliki keunggulan dibandingkan dengan kendaraan berbahan bakar mesin konvensional karena mereka tidak menghasilkan emisi gas buang. Rantai penggerak adalah perbedaan utama yang membedakan kendaraan listrik dari kendaraan biasa yang ditenagai oleh mesin internal combustion (ICE). Daripada kendaraan konvensional, kendaraan listrik dapat mentransmisikan daya dengan lebih mudah dan memiliki kapasitas untuk menyimpan energi [3].

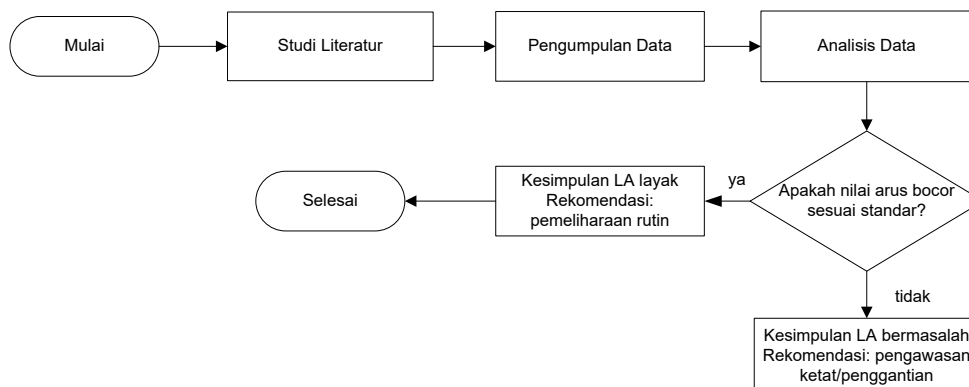
Pada sistem tenaga listrik gardu induk merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Gardu induk berperan sebagai penghubung antara penyuplai tenaga listrik yaitu sistem pembangkit, sistem jaringan transmisi dengan jaringan interkoneksi dan juga sistem jaringan distribusi sehingga listrik bisa digunakan oleh pelanggan. Gardu induk terdiri dari peralatan atau material transmisi utama (MTU) yang saling terhubung membentuk sebuah sistem. Salah satu MTU yang terdapat dalam sistem gardu induk adalah *Surge Arrester* atau *Lightning Arrester* berfungsi sebagai alat proteksi MTU yang lainnya dari tegangan surja baik surja hubung ataupun surja petir dengan mengalirkan arus berlebih langsung menuju ke tanah[2].

Lightning arrester yang fungsinya berhubungan dengan tegangan surja dan berperan sebagai proteksi untuk peralatan lain memiliki beberapa perlakuan pemeliharaan yang diberikan petugas, salah satunya adalah pemeliharaan preventif[3][4]. Pemeliharaan preventif merupakan pemeliharaan yang dilakukan secara teratur dan sistematis sebagai bentuk upaya memastikan kinerja *Lightning arrester* sesuai dengan standarnya[5]. Pemeliharaan preventif yang dilakukan pada *Lightning arrester* ini dilaksanakan pada kegiatan Pemeliharaan Rutin 2 Tahunan Bay Trafo 3 GI 150 kV Rancaekek.

2. Metode Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai alur penelitian, rancangan metode dalam studi ini disajikan dalam bentuk bagan alir (*flowchart*). Bagan tersebut merepresentasikan tahapan penelitian secara sistematis, dimulai dari kegiatan studi literatur, proses pengumpulan data primer maupun sekunder, pengolahan dan analisis data, hingga pengambilan keputusan serta penyusunan rekomendasi pemeliharaan *Lightning Arrester* pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek.

Setiap tahapan yang tercantum dalam bagan alir memiliki fungsi spesifik dalam mendukung validitas hasil penelitian. Melalui penyajian metode dalam bentuk *flowchart*, diharapkan proses penelitian dapat ditunjukkan secara runtut, terstruktur, serta sesuai dengan kaidah ilmiah yang berlaku.



Gambar 1. Flowchart penelitian

2.1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian dilakukan melalui studi literatur yang mencakup teori dasar mengenai Lightning Arrester, standar pemeliharaan yang berlaku (PLN, IEC, maupun pabrikan), serta metode evaluasi kinerja berdasarkan parameter teknis. Studi literatur ini bertujuan memberikan landasan konseptual dan acuan teknis dalam merancang penelitian.

2.2. Pengumpulan Data

Data penelitian diperoleh melalui dua jenis sumber, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer mencakup hasil inspeksi visual terhadap kondisi fisik Lightning Arrester serta pengukuran arus bocor resistif menggunakan *Leakage Current Tester*. Sementara itu, data sekunder meliputi data historis pemeliharaan, laporan operasi peralatan, serta spesifikasi teknis dari pabrikan. Seluruh proses pengumpulan data dilaksanakan secara sistematis untuk menjamin keakuratan dan kelengkapan informasi yang diperlukan dalam analisis.

2.3. Analisis Data

Data yang telah diperoleh selanjutnya diolah dan dianalisis melalui dua pendekatan utama, yaitu perbandingan standar dan analisis tren. Perbandingan standar dilakukan dengan mengacu pada batas nilai arus bocor yang ditetapkan oleh pabrikan maupun standar IEC/PLN, sedangkan analisis tren dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran saat ini terhadap data historis pemeliharaan sebelumnya untuk mengetahui perkembangan kondisi Lightning Arrester. Melalui kedua pendekatan ini, kondisi kinerja peralatan dapat dievaluasi secara lebih komprehensif.

2.4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dilakukan pengambilan keputusan mengenai kondisi Lightning Arrester dengan mempertimbangkan nilai arus bocor yang terukur. Apabila nilai tersebut masih berada dalam batas normal sesuai standar, maka Lightning Arrester dinyatakan layak beroperasi dengan rekomendasi pemeliharaan rutin. Sebaliknya, apabila nilai melebihi ambang batas yang ditentukan, maka peralatan dianggap mengalami penurunan kinerja sehingga diperlukan tindakan lanjutan berupa pengawasan intensif atau penggantian unit.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Lightning Arrester dilaksanakan untuk memperoleh gambaran kondisi aktual peralatan melalui serangkaian pengukuran, meliputi tahanan isolasi, uji tangen delta, dan tahanan

pentanahan. Berdasarkan hasil pengukuran, nilai tahanan isolasi berada pada kategori baik, nilai tangen delta menunjukkan angka yang rendah sehingga kualitas dielektrik arrester tetap terjaga, serta nilai tahanan pentanahan tercatat di bawah batas maksimum yang dipersyaratkan oleh standar. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi dan efektif dalam menjalankan fungsi proteksi terhadap gangguan tegangan lebih.

Pengujian Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek dilakukan melalui tiga metode utama, yaitu pengukuran tahanan isolasi, pengujian tangen delta, dan pengukuran tahanan pentanahan. Pengujian tahanan isolasi dilakukan dengan *Insulation Resistance Tester (Megger)* untuk mengevaluasi kualitas isolasi antara arrester dan tanah. Nilai tahanan isolasi yang diperoleh berada pada kategori tinggi sehingga menandakan bahwa isolasi Lightning Arrester masih dalam kondisi baik dan belum menunjukkan degradasi signifikan.

Selanjutnya, pengujian tangen delta ($\tan \delta$) menggunakan *Tan Delta/Power Factor Test Set* dilakukan untuk menilai kualitas dielektrik internal arrester. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tangen delta berada pada rentang rendah ($< 1\%$), yang mengindikasikan kondisi dielektrik masih baik serta tidak terdapat indikasi kelembapan atau kerusakan internal.

Pengujian berikutnya adalah pengukuran tahanan pentanahan menggunakan *Earth Resistance Tester* dengan metode tiga titik (*3-point method*). Nilai tahanan pentanahan yang diperoleh lebih kecil dari 5Ω dan bahkan mendekati $< 1 \Omega$, sesuai dengan standar yang dipersyaratkan untuk sistem tegangan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sistem grounding mampu menyalurkan arus petir secara efektif ke tanah tanpa menimbulkan risiko gangguan tambahan.

Secara keseluruhan, hasil ketiga pengujian tersebut mengindikasikan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 GI 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi. Peralatan ini dinilai efektif dalam melindungi sistem dari tegangan lebih, sehingga dapat dipertahankan dengan program pemeliharaan rutin.

3.1. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Pengujian tahanan isolasi dilakukan pada Lightning Arrester di fasa R, S, dan T dengan metode pengukuran dari titik Atas–Bawah (AB), Atas–Ground (AG), serta Bawah–Ground (BG). Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Tahanan Isolasi

Fasa	Nilai Tahanan		
	A-B	A-G	B-G
Fasa R	308.000 Ω	581.000 Ω	$>1000000 \Omega$
Fasa S	641.000 Ω	347.000 Ω	520.000 Ω
Fasa T	775.000 Ω	$>1000000 \Omega$	$>1000000 \Omega$

Berdasarkan hasil pengukuran, fasa R menunjukkan nilai tahanan 308.000 Ω (AB) dan 581.000 Ω (AG), sedangkan BG mencapai $>1.000.000 \Omega$, yang masih berada dalam kategori aman. Fasa S memperoleh nilai 641.000 Ω (AB), namun nilai AG lebih rendah, yaitu 347.000 Ω ,

dan BG sebesar 520.000 Ω . Nilai ini menandakan adanya sedikit penurunan kualitas dibanding fasa lainnya. Fasa T memiliki hasil terbaik, yaitu 775.000 Ω (AB) dan >1.000.000 Ω pada dua titik ukur lainnya, yang menunjukkan kualitas isolasi sangat optimal. Secara keseluruhan, ketiga fasa masih memenuhi standar keamanan, dengan fasa T sebagai kondisi terbaik, sedangkan fasa S perlu mendapat perhatian dalam pemeliharaan berkala.



Gambar 2. Pengujian tahanan isolasi

3.2. Hasil Pengujian Tangen Delta

Pengujian tangen delta bertujuan menilai kualitas dielektrik Lightning Arrester. Pengujian dilakukan pada masing-masing fasa dengan tegangan uji 10 kV. Hasil pengukuran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengukuran Tangen Delta

TYPE PENGUJIAN	TEGANGAN (KV)	ARUS (mA)	WATT LOSS (mA)
Phsa R			Hasil Ukur
GST-G	10	0,3674	0,0585
Phasa S			Hasil Ukur
GST-G	10	0,3603	0,0929
Phasa T			Hasil Ukur
GST-G	10	0,3674	0,1398

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fasa R memiliki nilai Watt Loss terendah sebesar 0,0585 mA, sedangkan fasa T mencatat Watt Loss tertinggi, yaitu 0,1398 mA. Nilai Watt Loss yang besar pada fasa T mengindikasikan adanya kemungkinan penurunan kualitas isolasi, yang dapat disebabkan oleh faktor kelembapan, kontaminasi, atau degradasi material internal. Kondisi ini perlu mendapatkan perhatian khusus melalui pengukuran ulang serta pemeriksaan fisik. Untuk menjaga efektivitas proteksi, perawatan rutin berupa pembersihan dan perlindungan dari kelembapan mutlak diperlukan agar nilai tangen delta tetap rendah.

Hasil tersebut sejalan dengan prinsip bahwa semakin tinggi nilai Watt Loss, maka semakin besar pula rugi daya dielektrik yang terjadi pada isolator. Kondisi ini menandakan bahwa

kemampuan isolasi Lightning Arrester dalam menahan tegangan lebih berangsur menurun. Jika tidak segera ditindaklanjuti, penurunan kualitas isolasi dapat meningkatkan risiko kegagalan proteksi ketika terjadi surja petir atau switching. Oleh karena itu, penerapan pemeliharaan prediktif berbasis tren nilai tahanan delta menjadi penting untuk mendeteksi dini degradasi material dan merencanakan tindakan perbaikan sebelum terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan kerusakan peralatan utama transformator.



Gambar 3. Pengujian tahanan delta

3.3. Hasil Pengujian *Grounding*

Pengujian tahanan pentanahan dilakukan untuk memastikan sistem grounding mampu menyalurkan arus petir maupun gangguan secara efektif. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian *Grounding*

Titik Ukur	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	Standard	Hasil Ukur	Standard	Hasil Ukur	Standard	Hasil UKur
Tahanan Pentanahan	$< 1\Omega$	0,01	$< 1\Omega$	0,19	$< 1\Omega$	0,09

Berdasarkan hasil pengujian, ketiga fasa menunjukkan nilai tahanan pentanahan yang jauh di bawah batas standar 1Ω . Fasa R mencatat nilai paling rendah, yaitu $0,01\Omega$, sedangkan fasa S dan T masing-masing sebesar $0,19\Omega$ dan $0,09\Omega$. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem pentanahan berada dalam kondisi sangat baik, efektif dalam menyalurkan arus gangguan, serta aman terhadap risiko lonjakan tegangan. Tidak ditemukan indikasi peningkatan resistansi yang signifikan, sehingga sistem grounding dinyatakan layak tanpa memerlukan tindakan perbaikan.



Gambar 4. Pengujian grounding

3.4. Pembahasan Umum

Berdasarkan ketiga jenis pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Lightning Arrester pada Bay Trafo 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih dalam kondisi layak operasi. Tahanan isolasi pada seluruh fasa memenuhi standar meskipun fasa S menunjukkan nilai yang relatif lebih rendah. Pengujian tangen delta mengindikasikan adanya potensi penurunan kualitas pada fasa T, sehingga pemeliharaan lebih intensif diperlukan pada bagian ini. Sementara itu, sistem grounding menunjukkan hasil yang sangat baik dengan nilai tahanan jauh di bawah standar. Secara keseluruhan, kondisi Lightning Arrester dapat dinyatakan andal, namun tetap diperlukan pemeliharaan preventif agar performa proteksi terhadap lonjakan tegangan tetap optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang meliputi tahanan isolasi, tangen delta, dan tahanan pentanahan, dapat disimpulkan bahwa Lightning Arrester pada Bay Transformator 3 Gardu Induk 150 kV Rancaekek masih berada dalam kondisi layak operasi. Nilai tahanan isolasi pada ketiga fasa menunjukkan kategori aman, dengan fasa T memiliki kualitas isolasi terbaik, sementara fasa S sedikit lebih rendah namun tetap memenuhi standar. Hasil pengujian tangen delta mengindikasikan bahwa fasa R memiliki performa terbaik dengan Watt Loss terendah sebesar 0,0585 mA, sedangkan fasa T mencatat Watt Loss tertinggi, yaitu 0,1398 mA, yang menandakan adanya indikasi penurunan kualitas isolasi dan perlu mendapatkan perhatian khusus melalui pemantauan serta pemeriksaan fisik. Sementara itu, pengujian tahanan pentanahan menghasilkan nilai jauh di bawah batas standar ($<1 \Omega$), yang menunjukkan bahwa sistem grounding masih sangat efektif dalam menyalurkan arus gangguan ke tanah. Dengan demikian, secara keseluruhan LA pada bay transformator ini masih mampu memberikan proteksi optimal terhadap tegangan lebih, namun diperlukan langkah pemeliharaan preventif dan prediktif secara rutin untuk menjaga keandalan serta mencegah potensi gangguan di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada pihak PT. PLN (Persero) ULTG Bandung Timur, yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini, serta kepada Jurusan Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang sangat mensupport dalam penelitian ini.

Referensi

- [1] J. Langer, J. Quist, and K. Blok, "Review of renewable energy potentials in indonesia and their contribution to a 100% renewable electricity system," *Energies*, vol. 14, no. 21, 2021, doi: 10.3390/en14217033.
- [2] M. Golshani, G. A. Taylor, and I. Pisica, "Simulation of power system substation communications architecture based on IEC 61850 standard," *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, 2014, doi: 10.1109/UPEC.2014.6934745.
- [3] Shoimatussururoh and B. Dwi cahyono, "Pemeliharaan Lightning Arrester (LA) pada Gardu Induk Saketi 150kv di PT. PLN (Persero) ULTG Rangkasbitung," *INSOLOGI J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 5, pp. 520–531, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.869.
- [4] Z. Farras Sumarna *et al.*, "Analisis Pengukuran Tahanan Kontak dan Tahanan Pertanahan Pada Pemutus Tenaga (PMT) Analysis of Contact Resistance Measurement and Grounding Resistance on Circuit Breaker," *Sent. Vi 2021*, no. November, pp. 191–200, 2021.
- [5] E. S. Rahman, M. Y. Mappedasse, and Hasrul, "Studi Pengujian Keserempakan Pemutus Tenaga (Pmt) 150 KvMenggunakan Breaker Analyzer Di Gardu Induk," *Media Elektr.*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2023.