

Kelayakan Lightning Arrester (LA) Berdasarkan Nilai Arus Bocor Resistif Pada Gardu Induk 150 kV Cigereleng

Feasibility of Lightning Arrester (LA) Based on Resistive Leakage Current Value at the 150 kV Cigereleng Substation

Cikal Rizki Andelia¹, Ahmad Anung Probo Kuncoro², Eki Ahmad Zaki Hamidi³

^{1,3}Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung

Jl. AH. Nasution 105 Bandung, Indonesia

²ULTG Bandung Barat

Ciseureuh, Regol, Bandung 40255

cklrzk2004@gmail.com¹, ahmad.anung@pln.co.id², ekiahmadzaki@uinsgd.ac.id³

Abstrak - Lightning Arrester (LA) merupakan perangkat proteksi penting di Gardu Induk 150 kV Cigereleng untuk melindungi sistem tenaga listrik dari lonjakan tegangan akibat sambaran petir atau operasi switching. Seiring waktu, LA dapat mengalami degradasi, ditandai dengan peningkatan arus bocor resistif yang mencerminkan kondisi kesehatan internal perangkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan LA melalui pengukuran arus bocor resistif menggunakan alat Leakage Current Monitor (LCM) di Gardu Induk 150 kV Cigereleng, PT PLN (Persero). Data pengukuran dibandingkan dengan batas standar dari pedoman PLN dan spesifikasi pabrikan untuk menentukan status kelayakan unit LA. Hasil menunjukkan bahwa sebagian besar unit LA berada dalam batas aman (di bawah 150 μ A untuk 150 kV), meskipun beberapa unit menunjukkan tanda penurunan performa yang memerlukan pemantauan lanjutan atau penggantian. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam menilai keandalan sistem proteksi di gardu induk.

Kata Kunci: Lightning Arrester, arus bocor resistif, kelayakan, Gardu Induk.

Abstract – The Lightning Arrester (LA) is a critical protection device at the 150 kV Cigereleng Substation, designed to safeguard the power system from voltage surges caused by lightning strikes or switching operations. Over time, LAs may experience degradation, indicated by an increase in resistive leakage current, which reflects the internal health condition of the device. This study aims to evaluate the feasibility of 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 standard limits based on PLN guidelines and manufacturer specifications to determine the operational feasibility of each LA unit. The results show that most LA units remain within safe limits (below 150 μ A for 150 kV), although some units exhibit signs of performance degradation requiring further monitoring or replacement. This study contributes to assessing the reliability of the protection system at the substation.

Keywords: Lightning Arrester, resistive leakage current, feasibility, Substation.

1. Pendahuluan

Gardu Induk (GI) merupakan komponen penting dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, berfungsi sebagai pusat pengaturan tegangan dan aliran daya untuk menjamin pasokan listrik yang kontinu kepada konsumen [1]. Salah satu gangguan eksternal utama adalah sambaran petir, yang diatasi dengan pemasangan Lightning Arrester (LA) sebagai perangkat proteksi. LA bekerja dengan mengalirkan tegangan lebih ke tanah, sehingga mencegah kerusakan pada peralatan seperti transformator dan pemutus tenaga [2]. Namun, seiring waktu, LA dapat

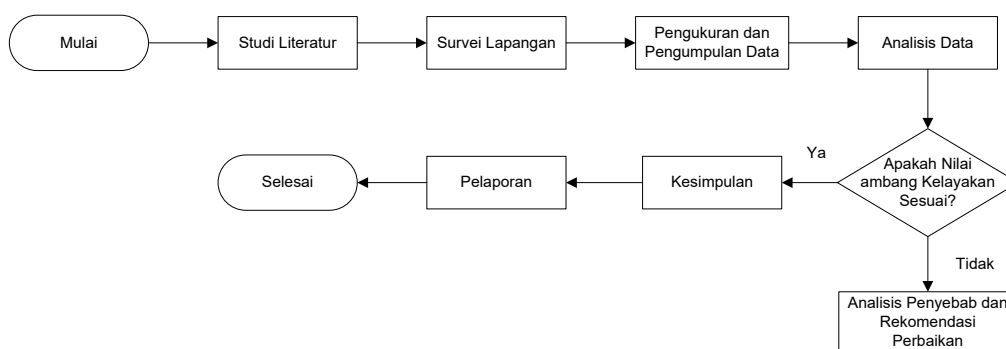
mengalami degradasi karena faktor lingkungan, beban kerja, dan kualitas isolasi internal, yang ditandai dengan peningkatan arus bocor resistif sebagai gejala utama [3].

Arus bocor total pada LA terdiri dari komponen kapasitif dan resistif, di mana arus resistif paling mencerminkan kondisi kesehatan internal perangkat. Peningkatan nilai ini mengindikasikan penurunan kemampuan isolasi dan risiko kegagalan fungsi, sehingga pengukuran arus bocor resistif secara berkala menjadi metode kunci untuk menentukan kelayakan operasi LA [4]. Di Gardu Induk 150 kV Cigereleng yang dikelola PT PLN (Persero), yang berperan strategis dalam suplai listrik wilayah Bandung dengan beban tinggi dan risiko petir besar, pengukuran ini memungkinkan evaluasi preventif tanpa mengganggu sistem. Berdasarkan hal tersebut, kerja praktik ini dilakukan untuk mengukur arus bocor resistif pada LA sebagai dasar evaluasi kelayakan dan input pemeliharaan [3][5].

Penelitian ini bertujuan mengukur arus bocor resistif pada LA di GI 150kV Cigereleng untuk evaluasi kelayakan dan masukan pemeliharaan PT PLN, dengan fokus pada pengukuran arus bocor resistif LA untuk mengevaluasi dan membandingkan kelayakan unit-unit berdasarkan data, tanpa mencakup analisis gangguan petir, aspek mekanis, atau sistem proteksi lain agar pembahasan tetap terarah. Tujuan kerja praktik ini adalah melakukan pengukuran arus bocor pada LA dan menentukan kelayakan LA berdasarkan hasil pengujian, dengan manfaat meliputi pengalaman untuk membandingkan teori kuliah dengan realitas lapangan.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh pemahaman teoritis mengenai standar kelayakan peralatan proteksi tegangan tinggi. Sumber literatur tersebut berasal dari buku pedoman PLN Persero. Dalam pedoman tersebut menunjukkan beberapa nilai yang terbagi menjadi 2 kelompok, yang berdasarkan pabrikan serta batasan yang ditentukan dari buku pedoman. Batasan nilai arus bocor maksimum ini ditentukan melalui pendekatan sebagai berikut;

1. Batasan arus bocor resistif maksimum yang diberikan oleh pabrikan. Ditunjukkan Tabel 1

Tabel 1 Batasan Nilai Arus Bocor Resistif yang diberikan Pabrikan

Merk	Type	IRES MAX (μ A)	KV
ABB	XAR/XLIM R	91	70, 150
	XAQ/ XMQ	130	150
	XAP-A/XAP-C/XLIM Q	167	70, 150

Merk	Tipe	IRES MAX (μ A)	KV
	EXLIM P-A/ EXLIM P-B/ EXLIM P-D	167	150, 500
	XAP-B/ EXLIM P-C	331	
	EXLIM T	251	500
BOWTHORPE	2VACM	91	150
OHIO BRASS	MPR	91	70,150
	VN	130	-
WESTINGHOUSE	W1	91	-

2. Bila nilai arus bocor resistif maksimum tidak diberikan oleh pabrikan, maka digunakan batasan sebagai berikut:
 - a. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 70 kV = 100 mikroAmpere
 - b. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 150 kV = 150 mikroAmpere
 - c. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 275 kV = 200 mikroAmpere
 - d. Nilai maksimum arus bocor resistif untuk tegangan 500 kV = 250 mikroAmpere

2.2. Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk mengidentifikasi secara menyeluruh seluruh Lightning Arrester (LA) yang terpasang pada Gardu Induk 150 kV Cigereleng. Kegiatan ini mencakup pencatatan tipe dan merk LA (misalnya polymer atau porcelain, station class maupun distribution class), umur operasi sejak pemasangan, serta posisi pemasangan pada setiap fase atau bay (incoming, outgoing, maupun transformator). Selain itu, riwayat perawatan seperti pembersihan, pengujian, penggantian, atau perbaikan juga didokumentasikan. Kondisi fisik LA saat ini diperhatikan secara detail, misalnya adanya retakan, perubahan warna, kontaminasi, atau bekas flashover. Lingkungan sekitar juga dicatat, misalnya kedekatan dengan jalan raya, kawasan industri, atau potensi polusi garam dan debu yang dapat mempercepat degradasi isolator. Setiap LA didokumentasikan melalui foto dan nomor seri serta rating tegangannya dicatat, kemudian dibuat peta lokasi yang menggambarkan posisi masing-masing LA baik pada single line diagram maupun tata letak fisik gardu. Jika tersedia, data historis hasil pengujian atau pengukuran arus bocor sebelumnya juga dihimpun untuk analisis tren dan pembandingan.

2.3. Pengukuran dan Pengumpulan Data

Sebelum memulai pengukuran, ada beberapa tahap penting yang harus dilakukan. Pertama, pastikan alat LCM (Leakage Current Monitor) disusun dengan benar sesuai Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat pengukuran LCM

Pemasangan clip-on dan probe dilakukan sesuai standar untuk menjamin ketepatan pengukuran arus listrik. Kesalahan dalam pemasangan berpotensi menghasilkan data yang tidak akurat, sehingga sebelum digunakan perlu dipastikan kondisi alat dalam keadaan baik, tanpa kabel yang rusak maupun konektor yang kendur yang dapat memengaruhi hasil pengukuran [6]. Setelah itu, dilakukan kalibrasi alat LCM sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Proses kalibrasi ini bertujuan untuk memastikan alat bekerja dengan tingkat akurasi yang sesuai dengan standar pengukuran.



Gambar 3. Rangkaian Kalibrasi

Pengaturan alat Leakage Current Monitor (LCM) merupakan tahap penting untuk menjamin kesesuaian hasil pengukuran dengan standar yang berlaku. Pada pengukuran di lapangan, LCM dioperasikan dalam mode tiga fasa dengan memasukkan estimasi suhu Lightning Arrester (LA) secara manual untuk kondisi pengukuran tidak kontinu. Tegangan operasional (U_c) diatur sesuai dengan spesifikasi peralatan, sedangkan jumlah cacah perhitungan (average) ditetapkan antara 10 hingga 20 kali guna meminimalkan standar deviasi dan meningkatkan reliabilitas data. Penempatan electric probe juga dilakukan secara terukur, yaitu sekitar 10 cm di bawah insulator dudukan LA secara vertikal dan 5 cm dari permukaan LA secara horizontal, tanpa menyentuh piring insulator [6], sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan pengaturan tersebut, proses pengukuran diharapkan berlangsung aman, akurat, serta sesuai dengan standar teknis yang ditetapkan.

2.4. Analisis Data

Analisis data pengujian arus bocor pada Lightning Arrester (LA) dilakukan melalui pendekatan komparatif yang mendalam dan sistematis, di mana nilai-nilai hasil pengukuran arus bocor resistif dari alat Leakage Current Monitor (LCM) dibandingkan secara teliti dengan batasan atau ambang batas nilai yang diperoleh dari studi literatur [3].

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam pengukuran arus bocor resistif (I_{res}) yang dilakukan pada tanggal 16 Januari 2025 dibagi menjadi 3 kelompok untuk mengevaluasi kondisi LA secara lebih sistematis berdasarkan fungsi, posisi, dan karakteristik beban masing-masing bay di Gardu Induk, didapatkan hasil yang ditunjukkan oleh Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.

1. Bay Interbus

Tabel 2 Data arus bocor resistif (I_{res}) kelompok Bay Interbus

No	Bay	Fasa	2021 (μA)	2022 (μA)	2023 (μA)	2024 (μA)	2025 (μA)	Merk (tipe)
1	IBT1	R	54	66	35	36	38	Siemens (3EL2)

No	Bay	Fasa	2021 (μ A)	2022 (μ A)	2023 (μ A)	2024 (μ A)	2025 (μ A)	Merk (tipe)
2	IBT2	S	24	33	14	15	16	144- 6PP42- 4XA2) 2012
		T	51	53	26	23	24	
		R	102	97	49	57	58	ABB AB (P144- XC170) 2017
		S	87	54	28	22	28	
		T	59	84	37	38	41	

Bay interbus berfungsi sebagai penghubung antar sistem bus di dalam gardu maupun dengan gardu lainnya. LA yang terpasang pada bay ini bertugas melindungi sistem dari lonjakan tegangan yang dapat datang dari kedua arah interkoneksi, baik akibat petir maupun switching. Oleh karena itu, pengukuran LA pada bay interbus penting dilakukan secara khusus untuk mendeteksi potensi degradasi akibat eksposur dua arah terhadap gangguan sistem eksternal.

Berdasarkan hasil pengukuran arus bocor lightning arrester pada bay Interbus yang ditunjukkan pada tabel 2, dapat diamati bahwa nilai arus bocor resistif dari tahun 2021 hingga 2025 secara konsisten berada di bawah batas maksimum yang direkomendasikan, yaitu 150 μ A.

Merujuk pada jenis (type) alat yang digunakan dan berdasarkan data pengujian, seluruh nilai arus bocor pada ketiga fasa (R, S, T) baik untuk IBT 1 maupun IBT 2 tidak melebihi ambang batas tersebut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa lightning arrester yang terpasang pada bay Interbus masih berada dalam kondisi layak dan aman untuk digunakan sesuai standar yang berlaku.

2. Bay Trafo

Tabel 3 Data arus bocor resistif (Ires) kelompok Bay Trafo

No	Bay	Fasa	2021 (μ A)	2022 (μ A)	2023 (μ A)	2024 (μ A)	2025 (μ A)	Merk (tipe)
1	Trafo 6	R	89	88	56	57	57	HUBBLE (PH3171GV132) 2015
		S	45	57	39	32	37	
		T	62	77	45	44	48	
2	Trafo 7	R	84	93	51	55	51	ABB AB (P144- XV170) 2017
		S	39	40	21	24	29	
		T	65	73	38	36	23	
3	Trafo 9	R	53	40	25	27	27	BOWTHORPE (2MB150S) 1989
		S	38	38	20	21	25	

No	Bay	Fasa	2021 (μ A)	2022 (μ A)	2023 (μ A)	2024 (μ A)	2025 (μ A)	Merk (tipe)
		T	49	60	28	32	34	
4	Trafo 10	R	63	65	34	35	37	SIEMENS (3EL2 144- 6PP42-4NA1)
		S	7	9	2	2	1	
		T	47	40	24	24	26	

Pada bay trafo menghubungkan sistem tegangan tinggi dengan transformator daya. LA pada bay ini sangat krusial karena berperan melindungi transformator yang merupakan aset bernilai tinggi dari lonjakan tegangan yang bisa merusak isolasi internal. Arus bocor resistif pada LA di bay trafo perlu diamati secara cermat karena transformator cenderung memiliki beban stabil dan pengaruh induksi magnetik yang khas.

Pada Bay Trafo tidak ada yang masuk dalam klasifikasi Merk (Type) yang diberikan oleh pabrikan sehingga berpacu pada nilai rekomendasi. Pada hasil pengukuran dari bay trafo memiliki nilai yang cukup baik, dari segi batas maksimum yang diberikan oleh rekomendasi. Tetapi terdapat hal yang disoroti dikarenakan nilai dari bay Trafo 10 fasa S memiliki nilai yang selalu kurang dari 10 dan terlihat dari hasil pengukuran pada tabel 3.2 perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan Lightning Arrester yang lainnya dari 5 tahun kebelakang. Tetapi dalam hal ini bukanlah suatu hal yang harus diwaspadai, dikarenakan nilai juga termasuk stabil karena tidak menurun secara drastis.

Maka dari itu, dapat dinyatakan juga bahwa pengukuran dalam LCM di monitoring dari nilai tahun tahun sebelumnya, bukan hanya dari standar batas maksimum resistif yang diberikan oleh pabrikan atau dari nilai rekomendasi PLN.

3. Bay Penghantar

Tabel 4 Data Arus bocor resistif (Ires) kelompok Bay Penghantar

No	Bay	Fasa	2021 (μ A)	2022 (μ A)	2023 (μ A)	2024 (μ A)	2025 (μ A)	Merk (tipe)
1	BRAGA 1	R	49	56	27	32	33	SIEMENS (3EP2 150- 2PH31-2CA1) 2010
		S	25	22	9	12	16	
		T	37	36	19	20	24	BOWTHORPE (MCA4-144) 1996
2	BRAGA 2	R	44	53	31	35	39	
		S	21	26	11	15	15	
		T	61	40	22	21	18	
3	CIBEUREUM 1	R	159	189	68	50	50	
		S	152	175	112	22	28	

No	Bay	Fasa	2021 (μ A)	2022 (μ A)	2023 (μ A)	2024 (μ A)	2025 (μ A)	Merk (tipe)
4	CIBEUREUM 2	T	131	140	80	35	37	
		R	105	113	71	72	73	
		S	53	69	21	20	28	
		T	100	103	57	55	58	
5	BANDUNG SELATAN 1	R	82	73	46	45	49	
		S	44	27	10	12	25	
		T	46	48	26	24	21	
5	BANDUNG SELATAN 2	R	59	79	37	52	45	
		S	26	37	8	14	16	
		T	56	47	23	31	17	
8	LAGADAR 1	R	87	117	57	52	53	
		S	160	134	17	20	26	
		T	134	110	36	36	34	
6	RAJAMANDALA	R	46	55	35	38	16	ASEA (XAA 150) 1979
		S	84	81	73	75	63	
		T	63	25	39	29	28	
7	SUKALUYU	R	54	59	61	34	53	
		S	61	141	62	57	63	
		T	117	157	92	90	28	
9	LAGADAR 2	R	178	125	34	55	62	SIEMENS (3EP6 132-3PF41-2XA1-Z) 2018
		S	165	38	24	14	20	
		T	245	83	72	36	40	

Bay penghantar (feeder) memiliki fungsi utama dalam menyalurkan energi dari gardu induk menuju jaringan distribusi maupun transmisi lanjutan. Lightning Arrester (LA) yang terpasang

pada bay ini relatif lebih rentan terhadap tekanan lingkungan, termasuk paparan sambaran petir langsung, karena jalur penghantar umumnya berada di luar ruangan. Oleh sebab itu, pengukuran arus bocor resistif pada bay penghantar menjadi aspek penting untuk mendeteksi lebih dini potensi kerusakan akibat akumulasi gangguan eksternal.

Hasil pengukuran berdasarkan merk dan tipe LA menunjukkan bahwa nilai arus bocor resistif secara umum masih berada dalam kisaran rekomendasi standar. Namun demikian, pada Tabel 3.3 tercatat beberapa nilai yang melebihi ambang batas maksimum, antara lain pada bay Cibeureum fasa R dan S pada tahun 2021 dan 2022, bay Sukaluyu fasa T tahun 2022, bay Lagadar 1 fasa S tahun 2021, serta bay Lagadar 2 di seluruh fasa pada tahun 2021. Menariknya, pada tahun berikutnya nilai arus bocor resistif kembali menurun dan konsisten berada di bawah ambang batas maksimum. Penurunan ini dapat dikaitkan dengan adanya penggantian LA pada tahun-tahun selanjutnya, sehingga kinerja proteksi kembali sesuai dengan standar kelayakan.

Dengan demikian, hasil evaluasi hingga tahun terakhir pengamatan, yaitu 2025, menunjukkan bahwa seluruh LA pada bay penghantar berada dalam kondisi layak operasi, khususnya pada unit-unit yang telah dilakukan pembaruan. Temuan ini menegaskan bahwa kegiatan pemeliharaan dan penggantian LA berperan penting dalam menjaga keandalan sistem proteksi pada gardu induk.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di PT. PLN (Persero) UPT Bandung ULTG Bandung Selatan, dapat disimpulkan bahwa pengukuran arus bocor pada Lightning Arrester (LA) merupakan metode yang efektif dalam mengevaluasi kondisi dan kinerja perangkat. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa LA berada dalam kondisi layak apabila arus bocor masih berada pada rentang batas standar, sedangkan nilai yang melebihi ambang batas mengindikasikan ketidaklayakan dan perlunya tindakan perbaikan atau penggantian. Dengan demikian, evaluasi rutin arus bocor resistif terbukti berperan penting dalam menjaga keandalan sistem proteksi terhadap lonjakan tegangan dan memastikan kontinuitas operasi sistem kelistrikan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan pada PT. PLN (Persero) UPT Bandung ULTG Bandung Selatan atas Kerjasama dalam penelitian ini dan Jurusan Teknik Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bandung atas support dalam penyelesaian paper ini.

Referensi

- [1] K. Qiu *et al.*, “Retracted: Research on tridimensional monitoring and defence technology of substation(IET Circuits, Devices and Systems, (2022), 17, (3)),” *IET Circuits, Devices Syst.*, vol. 17, no. 4, pp. 258–267, 2023, doi: 10.1049/cds2.12129.
- [2] R. AHMAD, “Anaisis Penentuan Kelayakan Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150 Kv Cepu,” *Pap. Knowl. . Towar. a Media Hist. Doc.*, vol. 3, no. April, pp. 49–58, 2021.
- [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] D. D. Memenuhi, *LIGHTNING ARRESTER DENGAN METODE PANTULAN BERULANG TERHADAP TRANSIEN GELOMBANG SURJA PADA GARDU INDUK 150 KV BRINGIN UNIVERSITAS SEMARANG BERULANG TERHADAP TRANSIEN GELOMBANG*. 2024.
- [5] 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.
- [6] S. S. Mukrimaa *et al.*, “Pedoman Proses Pemeliharaan Lightning Arrester,” *J. Penelit. Pendidik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 6, no. August, p. 128, 2024.