

Performance Analysis of Lightning Arresters in Likupang Switchyard

Analisa Unjuk Kerja *Lightning Arrester* yang Ditempatkan di Gardu Induk Likupang

Timoti Zefanya Lumiu¹⁾, Lily S. Patras²⁾, Glanny M. C. Mangindaan³⁾

Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia

e-mails : timotilumiu023@student.unsrat.ac.id, lily_spatras@unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id

Received: [date]; revised: [date]; accepted: [date]

Abstract - *The Likupang Switchyard is one of the Switchyard operating in the Suluttenngo region. Substations are not immune to disturbances that can result in their malfunction or equipment failure. Lightning arresters are specialized equipment designed to protect against disturbances such as lightning surges. The performance of the lightning arrester installed at the Likupang Switchyard, specifically for the Bitung bay line, is still operating very well. Based on the measurement results obtained, it is known that the leakage current percentage measurement for the Bitung bay line is 4.14% (the highest percentage value). The results of the leakage current percentage measurement are excellent as they comply with the specified LCM measurement standard, which is $\leq 90\%$. The measurement of the insulation resistance value of the installed lightning arrester at the Likupang Switchyard also meets the standards. The insulation resistance measurement result for the Bitung bay line is 223 G Ω , which greatly exceeds the specified standard of > 1 G Ω . As for the grounding measurement results, it follows the maintenance data obtained, where the grounding resistance for the Bitung bay line is < 1 Ω . These measurement results are well within the specified standard of < 1 Ω .*

Keywords – *Performance LA, Leakage Current, Insulation Resistance, Grounding Resistance.*

Abstrak - Gardu Induk Likupang merupakan salah Gardu Induk yang beroperasi di wilayah Suluttenngo. Gardu Induk juga tidak luput dari adanya gangguan yang dapat mengakibatkan tidak berfungsinya atau kegagalan pada peralatan yang terpasang pada gardu induk Likupang. *Lightning Arrester* peralatan yang dirancang khusus untuk memproteksi gangguan seperti surja petir atau surja. Unjuk kerja *Lightning Arrester* yang terpasang pada Gardu Induk Likupang khususnya untuk bay line Bitung masih beroperasi dengan sangat baik. Berdasarkan dari hasil pengukuran yang diperoleh, diketahui pengukuran presentase nilai arus bocor, untuk bay line Bitung itu sebesar 4.14 % (nilai presentase tertinggi). Dari hasil pengukuran presentase arus bocor yang didapat, hasilnya itu sangat baik karena sesuai dengan standart pengukuran LCM yang ditentukan yaitu ≤ 90 %. Begitu juga dengan hasil pengukuran nilai tahanan isolasi lightning arrester yang terpasang di Gardu Induk Likupang. Dalam hasil pengukuran tahanan isolasi untuk bay line Bitung diperoleh hasil tahanan isolasinya sebesar 223 G Ω . Hasil yang didapatkan sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu > 1 G Ω . Dan untuk hasil pengukuran pentanahan/grounding itu mengikuti dari hasil data pemeliharaan yang didapat, dimana hasil tahanan grounding dari bay line Bitung yaitu < 1 Ω . Dari hasil pengukuran tersebut diketahui hasilnya sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu < 1 Ω .

Kata kunci – Unjuk Kerja LA, arus bocor, tahanan isolasi, tahanan grounding.

I. PENDAHULUAN

Dalam konteks kehidupan sehari-hari, keandalan dalam penyampaian energi listrik kepada pelanggan atau konsumen menjadi aspek yang sangat penting. Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa distribusi energi listrik berjalan lancar tanpa mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terputusnya pasokan listrik ke peralatan penggunaan dan dampak kerugian pada infrastruktur transmisi serta konsumen. Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu yang sangat terbatas. Tegangan berlebihan yang terjadi dalam periode yang melewati kapasitas peralatan akan menyebabkan kerusakan pada perangkat yang terhubung ke dalam sistem yang mengalami tegangan berlebihan tersebut (Siahaan et al., 2019). Hubung singkat adalah fenomena di mana terjadi sambungan langsung atau tidak langsung antara penghantar yang bermuatan dengan atau tanpa tegangan melalui elemen media seperti resistor atau beban, yang mengakibatkan aliran arus yang tidak normal. Gangguan yang muncul dalam distribusi energi listrik dapat dipicu oleh sambaran petir yang mengenai kawat penghantar dalam saluran transmisi, yang kemudian menyebabkan gelombang surja petir menyebar ke peralatan di Gardu Induk. Tingkat kehebatan dari sambaran surja petir tersebut dapat merusak isolasi peralatan. Sambaran surja petir dapat menciptakan gelombang berjalan yang menghasilkan tegangan berlebihan (over voltage), dan dampak dari gelombang berjalan ini akan menyebabkan peningkatan tegangan di lokasi yang cukup jauh dari arrester. Karena itu, jarak optimal yang diperbolehkan antara arrester dan peralatan yang dilindungi dapat ditentukan dengan memperhatikan karakteristik gelombang surja yang datang, serta tegangan kerja arrester, sehingga prinsip perlindungan peralatan dapat dicapai secara efisien (Santjatiadaja et al., 2019). Selain menjaga peralatan dari dampak tegangan berlebihan yang berasal dari sumber eksternal, arrester juga berperan dalam melindungi peralatan dari tegangan berlebihan yang berasal dari dalam sistem, seperti surja hubung. Selain itu, arrester juga memiliki peran kunci dalam mengkoordinasikan isolasi dalam sistem tenaga listrik. Selain kemampuan untuk mengalirkan arus tegangan berlebihan yang mungkin timbul dalam sistem tenaga listrik, arrester juga memiliki kemampuan untuk menahan panas yang dihasilkan akibat arus tegangan berlebihan yang dialirkan ke tanah. Tingkat panas yang dihasilkan ini akan bervariasi tergantung pada besarnya arus tegangan berlebihan dan durasi arus yang mengalir ke tanah (Barasa et al., 2017).

A. Penelitian Terkait

Arrester digunakan dalam lingkungan terbuka, sehingga kinerja arrester sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti curah hujan, intensitas sambaran petir, dan tingkat polusi. Di Indonesia, yang memiliki tingkat curah hujan yang cukup tinggi karena beriklim tropis dengan hanya dua musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan, intensitas hujan yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan kekuatan dielektrik udara. Hal ini dapat menjadi potensi risiko bagi arrester, karena dapat menyebabkan terjadinya fenomena tegangan lompatan api (flashover) pada arrester. Flashover adalah kejadian di mana isolator tidak mampu memisahkan konduktor yang bermuatan dari konduktor lain, sehingga arus dapat bocor melalui udara di sekitar permukaan arrester. Ketika hujan turun, resistansi pada permukaan arrester akan menurun karena air hujan melapisi permukaan arrester, yang mengakibatkan resistansi arrester menjadi lebih rendah. Rendahnya resistansi arrester dapat menyebabkan arus bocor terjadi pada permukaan arrester, dan jika hal ini terjadi dalam jangka waktu tertentu, dapat menyebabkan terjadinya flashover pada arrester.

Berdasarkan latar belakang di atas, penelitian ini akan membahas mengenai keandalan arrester petir berdasarkan tahanan isolasi dan tahanan grounding, serta melakukan analisis terhadap arus bocor yang dapat mempengaruhi terjadinya tegangan berlebih pada gardu induk yang berlokasi di Gardu Induk Likupang.

B. Gardu Induk

Gardu Induk adalah bagian integral dari sistem tenaga listrik yang berlokasi di titik pusat tertentu yang menghubungkan berbagai elemen seperti saluran transmisi, saluran distribusi, perangkat hubung, transformator, peralatan pelindung, peralatan pengendalian, dan merupakan komponen utama dalam proses pengiriman tenaga listrik dari pembangkit ke konsumen. Pembangkit berfungsi untuk menghasilkan tenaga listrik dari generator, yang kemudian diubah menjadi tegangan tinggi melalui transformator step up. Tenaga listrik yang memiliki tegangan tinggi selanjutnya disalurkan melalui penghantar menuju gardu induk (Za'im, 2020)

Gardu induk juga berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit ke distribusi atau ke konsumen. Gardu Induk juga memegang peranan terpenting dalam menaikkan tegangan maupun menurunkan tegangan. Gardu Induk juga diartikan sebagai tempat menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhannya, yaitu meliputi tegangan ekstra tinggi 500 KV, tegangan tinggi 150 KV dan 70 KV.

Peralatan proteksi di gardu induk yaitu;

- a. Busbar atau Rel,
- b. Lightning Arrester,
- c. Sakelar Pemisah,
- d. Circuit Breaker,
- e. Saklar Pentanahan,
- f. Rele Proteksi dan Papan Alarm (Pratomo, Patras, 2021).

C. Lightning Arrester Sebagai Alat Proteksi

Penangkal petir, yang juga dikenal sebagai Lightning Arrester, merupakan perangkat yang telah didesain untuk menjaga peralatan krusial yang terintegrasi dalam sistem tenaga listrik dari lonjakan tegangan yang tiba-tiba, serta mengalirkannya menuju tanah, sambil menjalankan tugasnya untuk memantau aliran arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Arrester dirancang untuk melindungi peralatan lain yang ada dalam jaringan tenaga listrik dari lonjakan tegangan, termasuk lonjakan dari saluran distribusi maupun dari sambaran petir, dengan membatasi dampak tegangan ekstra yang masuk

dan mengarahkannya ke tanah, sambil mempertahankan kemampuan untuk mengukur arus yang mengalir ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Sesuai dengan fungsi utamanya, arrester juga harus memiliki kapasitas untuk menahan tegangan sistem sebesar 50 Hz untuk jangka waktu yang tidak terbatas, serta mampu mengalirkan arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Selain itu, sebuah peralatan pelindung yang efisien juga harus memiliki rasio proteksi yang tinggi, yang merupakan perbandingan antara waktu pemutusan saat tegangan maksimum yang diizinkan tercapai selama pemutusan dan tegangan maksimum sistem pada 50 Hz yang bisa ditahan setelah pemutusan (Rahmawati & Ishak, 2019) Arrester juga adalah alat untuk memproteksi apabila terjadi gangguan surja hubung dan surja petir untuk mengamankan peralatan tegangan tinggi di gardu induk. Arrester juga harus bertindak sebagai isolator, menghantarkan beberapa miliampere arus bocor ke bumi dalam sistem tegangan listrik dan menjadi konduktor selama operasi, menghantarkan ribuan ampere arus impuls ke bumi, memiliki tegangan di bawah tegangan penahan (Okto Hendri Gunawan, 2021).

1) Prinsip Kerja Lightning Arrester

Prinsip dasar kerja penangkal petir adalah menciptakan jalur yang memudahkan petir untuk melewatinya, sehingga tidak akan terjadi lonjakan tegangan yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal, penangkal petir berperan sebagai isolator, tetapi ketika terjadi lonjakan arus, penangkal petir berfungsi sebagai konduktor yang memungkinkan aliran arus yang tinggi untuk mengalir menuju tanah. Setelah arus tersebut hilang, penangkal petir harus segera kembali ke keadaan normal atau berfungsi lagi sebagai isolator. Penangkal petir terdiri dari dua komponen utama, yaitu sela api (spark gap) dan tahanan kran (valve resistor) (Jurnal, 2018).

2) Jenis-jenis Lightning Arrester

Berdasarkan jenisnya, arrester terbagi menjadi dua jenis ya:

a). Arrester Jenis Ekspulsi

Penangkal petir ini digunakan dalam sistem tenaga listrik yang beroperasi pada tegangan hingga 33 kV. Struktur konstruksinya dapat dilihat dalam gambar 1. Arrester ini terdiri dari dua sela yang terhubung secara seri, yaitu sela luar dan sela dalam. Sela dalam ditempatkan di dalam tabung serat (fiber), sedangkan elektroda sela dalam yang dilapisi serbuk halus dibentuk dalam bentuk pipa. Adanya dua pasangan elektroda ini memungkinkan penangkal petir untuk menangani tegangan tinggi dengan frekuensi daya tanpa menghasilkan korona atau arus yang mengalir ke tanah. Tegangan tembus yang diperlukan untuk sela luar sengaja diatur lebih rendah daripada tegangan lonjakan api pada isolator pendukung sela luar (Saiful ambri, 2018).

b). Arrester Jenis Katub

Arrester Katub terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

- Arrester Katub Sela Pasif
- Arrester Katub Sela Aktif
- Arrester Katub Tanpa Sela Percik
- Arrester Katub Jenis Gardu
- Arrester Katub Jenis Saluran
- Arrester Jenis Gardu Untuk Mesin-Mesin
- Arrester Katub Jenis Distribusi Untuk Mesin-Mesin

3) Perkembangan Lightning Arrester

Perkembangan teknologi Penangkal Petir dapat dianalisis dalam perspektif historisnya. Kemajuan dalam teknologi Penangkal Petir telah terjadi selama sekitar satu abad terakhir,

seiring dengan perkembangan penggunaan listrik dalam skala besar. Untuk merangkum sejarah perkembangan Penangkal Petir secara singkat, dapat disajikan sebagai berikut: (Schwarz et al., 2021)

1892 – 1908	: Penggunaa Air Gaps
1908 – 1930	: Multiple gaps dengan resistor
1920 – 1930	: Lead Oxide dengan resistor
1930 – 1960	: Passive Gapped Silicon Carbide (SiC)
1960 – 1982	: Active Gapped Silicon Carbide (SiC)
1976 – sekarang	: Zinc Oxide (ZnO) tanpa gap
1985 – sekarang	: Zinc Oxide (ZnO) tanpa gap dengan <i>housing polymer</i>

Keping ZnO telah memperlihatkan karakteristik kerja yang jauh lebih unggul dibandingkan dengan generasi pendahulunya yang menggunakan SiC dengan gap. Sebagian besar Penangkal Petir dalam sistem transmisi PLN di Indonesia kini mengadopsi teknologi keping ZnO tanpa gap, juga dikenal sebagai MOSA-Metal Oxide Surge Arresters. Di beberapa lokasi di Indonesia, MOSA dengan housing polymer sudah mulai digunakan.

4) Gangguan Lightning Arrester

Adapun gangguan yang terjadi pada lightning arrester adalah sebagai berikut.

a). Surja Petir

Surja petir adalah fenomena pelepasan muatan yang terjadi antara awan, dalam awan, atau antara awan dan permukaan tanah. Dalam konteks ini, awan dapat mengandung muatan positif dan muatan negatif. Ketika muatan ini saling berinteraksi, terjadi gaya tarik-menarik yang dapat menyebabkan munculnya kilat di dalam awan. Hal serupa terjadi ketika muatan negatif mendekati muatan negatif lainnya, yang bisa menghasilkan kilat atau lonjakan muatan. Perlu dicatat bahwa permukaan bumi juga memiliki muatan positif dan negatif yang tersimpan. Jika ada pelepasan muatan dari petir yang dekat dengan permukaan bumi, ini dapat mengakibatkan sambaran petir ke tanah. Ketika petir mengenai langsung suatu penghantar, kemungkinan besar penghantar tersebut akan mengalami kerusakan atau putus, karena gelombang petir tersebut menghasilkan tegangan impuls yang melebihi Batas Isolasi Dasar (BIL) dari penghantar tersebut. Namun, jika petir tidak mengenai penghantar secara langsung, tetapi melalui induksi dari petir, maka gelombang petir akan menjalar ke segala arah, menciptakan gelombang yang bergerak melalui jaringan menuju suatu titik lain yang dapat menetralkan arus petir tersebut. Hal ini sering kali menuju titik pentanahan (Meidyani Dp et al., 2019).

b). Surja Hubung

Surja hubung adalah suatu kejadian yang terjadi karena pengoperasian saklar, baik saat penutupan maupun saat pembukaan, yang dapat mengakibatkan terjadinya hubung singkat. Hubung singkat adalah kondisi di mana terjadi penyambungan antara penghantar yang memiliki tegangan dengan penghantar yang tidak memiliki tegangan secara langsung dan tanpa melalui perantara media apapun. Hal ini mengakibatkan terjadinya arus yang tidak normal atau arus yang sangat besar (Yunus et al., 2023).

D. Pemeliharaan Lightning Arrester

Penangkal petir (Lightning Arrester atau LA) adalah perangkat yang dirancang untuk menjaga peralatan listrik yang terhubung dalam sistem distribusi dari tegangan yang melonjak, baik itu akibat dari surja hubung atau surja petir. Surja dapat terjadi dan merambat melalui konduktor dalam situasi-situasi seperti yang dijelaskan di bawah ini: (Wirawan et al., 2021).

- Kegagalan dalam penetapan sudut proteksi terhadap petir, menyebabkan surja petir mengalir melalui konduktor fase.
- Terjadinya backflashover karena tingkat resistansi tanah yang tinggi, baik di gardu induk maupun di saluran transmisi.
- Proses pengoperasian sirkuit pemutus (Circuit Breaker) atau saklar pemisah (Disconnect Switch) yang memicu surja hubung.
- Gangguan pada fasa-fasa sistem atau antara fasa dan tanah, baik dalam saluran transmisi maupun di gardu induk.

a). Jenis-jenis Pemeliharaan Lightning Arrester

Tindakan pemeliharaan yang dicatat dalam buku pedoman ini termasuk dalam kategori pemeliharaan proaktif, yang bertujuan untuk mencegah terjadinya kegagalan peralatan. Kegiatan pemeliharaan reaktif, yang merupakan upaya perbaikan setelah gangguan, tidak termasuk dalam lingkup buku ini. Pemeliharaan proaktif dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pemeliharaan preventif dan pemeliharaan prediktif. Pemeliharaan preventif juga dikenal sebagai Time Based Maintenance (TBM). Dalam TBM, pemeliharaan dilakukan pada interval waktu tertentu, tanpa memperhatikan apakah peralatan tersebut memerlukan perawatan atau tidak pada saat interval tersebut. Beberapa elemen yang termasuk dalam TBM adalah:

1. Scheduled restoration.
2. Scheduled discard.

Pemeliharaan prediktif adalah upaya pemeliharaan yang dilakukan untuk memahami kondisi peralatan dan melibatkan tindakan pemeliharaan yang disesuaikan dengan kondisi aktual peralatan tersebut. Beberapa komponen yang tercakup dalam pemeliharaan prediktif adalah sebagai berikut:

1. Condition monitoring.
2. Condition Based Maintenance (CBM)
3. Lifetime prediction.

Pemeliharaan preventif pada Penangkal Petir, sebagai contohnya, mencakup penggantian Penangkal Petir berdasarkan hasil penilaian dari pengukuran Life Cycle Monitoring (LCM). Sementara itu, pemeliharaan prediktif pada Penangkal Petir, sebagai contohnya, melibatkan pengukuran arus bocor resistif pada Penangkal Petir (LCM), mengubah interval pengukuran LCM setelah mengetahui kondisi Penangkal Petir yang "lemah," dan melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi pada Penangkal Petir. Dalam buku pedoman ini, kegiatan pemeliharaan prediktif dibagi ke dalam tiga tingkat inspeksi berdasarkan tingkat kesulitan pelaksanaan dan tingkat kemampuan diagnosis, yaitu:

1. Inspeksi Level-1 (IL-1)

Inspeksi online yang bersifat permukaan ini bertujuan untuk

mengidentifikasi potensi ketidaknormalan atau anomali dalam peralatan dan memulai langkah-langkah inspeksi lebih mendalam. Aktivitas ini dilakukan dengan memanfaatkan indera manusia, termasuk pengamatan visual, pendengaran, dan penciuman

2. Inspeksi Level-2 (IL-2)

Inspeksi online yang dilakukan dengan maksud untuk melakukan penilaian kondisi peralatan (assessment kondisi) dilakukan dalam keadaan peralatan masih beroperasi atau bertegangan.

3. Inspeksi Level-3 (IL-3)

Inspeksi offline yang memiliki tujuan untuk melakukan penilaian kondisi peralatan (assessment kondisi) dilakukan dalam kondisi dimana peralatan tidak beroperasi atau tidak bertegangan.

Adapun jenis-jenis pemeliharaan arrester adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran Tahanan Nilai Isolasi (Megger Test)

Untuk mengetahui kemampuan isolasi LA pada tegangan operasional merupakan tujuan dari pengukuran nilai tahanan isolasi. Pengukuran tersebut dilakukan dalam keadaan yang tidak bertegangan atau padam. Titik pengujian nya adalah sebagai berikut :

1. Resistansi isolasi pada Penangkal Petir dimulai dari klem atas hingga ground.
 2. Resistansi isolasi yang terdapat pada masing-masing susunan Penangkal Petir.
 3. Resistansi isolasi pada isolator penyangga atau penopang.
- Adapun langkah-langkah evaluasi yang dilakukan yakni:

- a. Lakukan perbandingan antara hasil pengukuran dengan standar atau hasil dari tahun sebelumnya.
- b. Apabila hasil pengukuran sesuai dengan standar, proses dapat dihentikan.
- c. Proses pengukuran telah selesai. Namun, jika hasil pengukuran tidak memenuhi standar yang ditentukan, langkah perbaikan harus dilakukan, dan tahanan perlu diukur ulang..

2. Pengukuran Nilai Tahanan Pentanahan Untuk mengetahui kondisi sistem pentanahan pada LA merupakan tujuan dari pengukuran.

b). Pengukuran Lightning Arrester

-Presentase Arus Bocor

Untuk mengetahui presentase arus bocor pada Lightning Arrester dapat menggunakan persamaan.

$$\% = \frac{n}{N} \times 100$$

%.....
(2.1)

Keterangan:

n = Nilai Korektif Arus Bocor (µA)

N = Batas Arus Bocor Pabrik (µA)

-Nilai Tahanan Isolasi

Untuk mengetahui hasil pengukuran tahanan isolasi dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini:

$$R = \frac{(1000.U)}{Q} . U . 2,5$$

Keterangan:

R = Tahanan Isolasi Minimal

U = Tegangan Kerja

Q = Tegangan Megger

1000 = Bilangan Tetap

2,5 = Faktor Keamanan (apabila baru)

A. Arus Bocor

Arus bocor merupakan aliran arus yang terjadi ketika isolator pada penangkal petir tidak memenuhi persyaratan atau standar, baik itu dalam hal peralatan maupun kondisi tanah atau grounding. Proses terjadinya arus bocor dimulai dengan adanya lapisan konduktif yang terbentuk pada permukaan isolator. Secara alami, permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang tinggi dalam keadaan bersih. Penyebab utama terjadinya kontaminasi pada permukaan isolator adalah adanya penurunan nilai tahanan pada permukaan tersebut. Arus bocor pada permukaan isolator terjadi karena nilai tahanan pada permukaan isolator turun. Apabila tegangan yang harus dihadapi oleh isolator melebihi kapasitasnya, maka akan terjadi aliran arus pada permukaan isolator. Aliran arus ini dikenal sebagai arus bocor atau arus rambat. Keberadaan arus bocor pada permukaan isolasi dari isolator eksternal tergantung pada kondisi polutan, suhu, dan situasi cuaca yang menyebabkan terjadinya kontaminasi pada permukaan tersebut (Harahap et al., 2021).

B. Tahanan Isolasi

Pengukuran resistansi antara dua kabel dalam saluran yang telah diisolasi atau antara satu kabel dengan tanah bertujuan untuk mengevaluasi kondisi isolasi pada penangkal petir, baik itu dalam keadaan yang memadai atau kurang memadai. Proses pengukuran dilakukan dengan menggunakan perangkat Megger dengan tegangan sebesar 5000 volt (Arifin, 2021).

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Umum

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk dimana yang menjadi objek penelitian adalah Arrester di Gardu Induk Likupang yang berfungsi sebagai peralatan proteksi apabila terjadi gangguan petir. Di Gardu Induk Likupang terdapat beberapa peralatan proteksi yang berfungsi untuk melindungi peralatan lainnya yang berada di Gardu Induk.

TABEL I
DATA SPESIFIKASI LIGHTNING ARRESTER

Nama Gardu	Bay	Merk	No. Seri	Type	Standart	Tahun dibuat
G.I Likupang	Line	Zn0	28057	PSE		2005
	MSM		064 -	60 W		
	(SU 3.1)		28050			
			63 -			
			28057			
			062			
	Line	ABB	75228	PEXL		2014
	BITUNG	AB	505 -	IM-		
	(SU 3.2)		75228	R072-		
			506 -	YV07		
			75228	2		
			507			
	Trafo	TRIDE	79491	SBK-	IEC60	2009
	170/20kV	LTA	-	III	099-4	
	(20MVA)		79489			
	-(SU 3.3)		-			
			79490			
	Trafo	Zn0	28057	PSE		2005
	270/20kV		068 -	60 W		
	(20MVA)		28057			
	-(SU 3.6)		066 -			
			28057			
			067			

Dari tabel I diatas dapat di lihat, tentang data spesifikasi lightning arrester yang berada di Gardu Induk Likupang.

TABEL II
DATA OPERASI DARI ARRESTER

Merk	No.Seri	Type	Standard	Tahun Operasi	Lama (V)	U (kV)	Uc (kV)	Hea vy Dut In (kA)	PR CL/ Is (kA)	C la ss
Zn0	28057064 - 2805063 - 28057062	PSE 60 W			15	6	47	10	40 / 0,2s	2
ABB AB	75228505 - 75228506 - 75228507	PEX LIM -		2016	4	7	58	10	50	1 0
		R07 2- YV0 72								
TRIDEL TA	79491 - 79489 - 79490	SBK -III 4	IEC6 0099-		11	7	58	10	40	3
Zn0	28057068 - 28057066 - 28057067	PSE 60 W			15	6	47	10	40 / 0,2s	2

Dapat dilihat pada tabel II di atas, adalah tentang data operasi dari Lightning Arrester yang berada di Gardu Induk Likupang.

B. Data Pemeliharaan Lightning Arrester

Berikut di bawah ini merupakan data LCM dan data dari hasil pemeliharaan *Lighning Arrester* yang ditempatkan di Gardu Induk Likupang.

TABEL III
DATA LEAKAGE CURRENT MEASUREMENT LINE BITUNG

Bay	Phase	Merk	Rated Voltage (kV)	MCOV (kV)	Corrected Resistive Current (µA)
Line Bitung	R Belakang	PEXLIM R072-	72.0	58.0	35.5
	R Depan	YV072			36.7
	R Kanan				41.1
	R Kiri				36.4
	S Belakang				10.2
	S Depan				12.1
	S Kanan				09.2
	S Kiri				15.1
	T Belakang				28.4
	T Depan				35.3
	T Kanan				33.8
	T Kiri				40.7

TABEL IV
DATA HASIL PEMELIHARAAN

ULFO	T ₁	Ber	Merk	Tipe	Yas	Tahun	Tanggal pengujian	Yakutera Selatan		Anasak		LCM	GSD
								Atas Tanah	Bawah Tanah	Uman	Uasal		
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	B	2014	19 September 2020	6640	30070	0	0	37,750	<1
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	B	2014	19 September 2020	81500	31100	0	0	11,500	<1
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	T	2014	19 September 2020	51600	37000	0	0	14,900	<1
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	B	2014	26 Mei 2022	20400	28100	0	0	37,750	<1
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	B	2014	26 Mei 2022	30100	35600	0	0	11,300	<1
Sawangan	70	Line Bitung	ABB AB	Perlim	T	2014	26 Mei 2022	44800	42100	0	0	34,500	<1

Dan pada tabel IV di atas memperlihatkan tentang data hasil pemeliharaan Lightning Arrester yang bertempat di sawangan line Bitung.

C. Perhitungan

1) Perhitungan Arus Bocor

Dengan Data Hasil LCM Untuk mengetahui persentase arus bocor pada Lightning Arrester dapat menggunakan persamaan (2.1)

- Line Bitung

1. Fasa R (Belakang)

$$\frac{355}{150} \times 100 \% = 3.55 \times 100 \% = 3.55 \%$$

2. Fasa R (Depan)

$$\frac{367}{100} \times 100 \% = 3.67 \times 100 \% = 3.67 \%$$

3. Fasa R (Kanan)

$$\frac{414}{100} \times 100 \% = 4.14 \times 100 \% = 4.14 \%$$

4. Fasa R (Kiri)

$$\frac{364}{100} \times 100 \% = 3.64 \times 100 \% = 3.64 \%$$

5. Fasa S (Belakang)

$$\frac{102}{100} \times 100 \% = 1.02 \times 100 \% = 1.02 \%$$

6. Fasa S (Depan)

$$\frac{121}{100} \times 100 \% = 1.21 \times 100 \% = 1.21 \%$$

7. Fasa S (Kanan)

$$\frac{92}{100} \times 100 \% = 0.92 \times 100 \% = 0.92 \%$$

8. Fasa S (Kiri)

$$\frac{151}{100} \times 100 \% = 1.51 \times 100 \% = 1.51 \%$$

9. Fasa T (Belakang)

$$\frac{284}{100} \times 100 \% = 2.84 \times 100 \% = 2.84 \%$$

10. Fasa T (Depan)

$$\frac{353}{100} \times 100 \% = 3.53 \times 100 \% = 3.53 \%$$

11. Fasa T (Kanan)

$$\frac{338}{100} \times 100 \% = 3.38 \times 100 \% = 3.38 \%$$

12. Fasa T (kiri)

$$\frac{407}{100} \times 100 \% = 4.07 \times 100 \% = 4.07 \%$$

2) *Perhitungan Tahanan Isolasi*

Untuk menghitung nilai tahanan isolasi *Lightning Arrester* di Line Bitung menggunakan persamaan (2.2).

$$R = \frac{(1000.72)}{58} \cdot 72.2,5$$

$$R = \frac{72.000}{58} \cdot 72.2,5$$

$$R = 89,397.2,$$

$$R = 223,447 \text{ M}\Omega \rightarrow 223 \text{ G}\Omega$$

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Perhitungan

Dibawah ini adalah data hasil perhitungan, sebagai berikut:

1) *Prenstase Arus Bocor*

Pada tabel V adalah hasil presentase arus bocor line bitung.

TABEL V
HASIL PENGUKURAN PRESENTASE ARUS LINE
BITUNG

Wilayah	Fasa	Hasil Perhitungan
	R (Belakang)	3.55 %
	R (Depan)	3.67 %
	R (Kanan)	4.14 %
	R (Kiri)	3.64 %
Line Bitung	S (Belakang)	1.02 %
	S (Depan)	1.21 %
	S (Kanan)	0.92 %
	S (Kiri)	1.51 %
	T (Belakang)	2.84 %
	T (Depan)	3.53 %
	T (Kanan)	3.38 %
	T (Kiri)	4.07 %

TABEL VI
REKOMENDASI HASIL UKUR LCM

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

Dapat dilihat dari tabel VI di atas adalah tabel rekomendasi Hasil ukur LCM. Berdasarkan tabel di atas, maka di ketahui standart nilai presentase arus bocor adalah sebesar ≤ 90 %. Kalau di bandingkan dengan hasil perhitungan presentase arus bocor menggunakan data LCM yang didapat dimana hasilnya ketika dilihat dari hasil perhitungan yang paling tinggi yaitu sebesar 4.14 % (Line Bitung).

Dengan standart nilai presentase yang ada pada tabel VI di atas, hasil dari perhitungan tersebut tergolong sangat rendah, atau bisa dikatakan bahwa hasil presentase arus bocor lightning arrester *bay line* Bitung itu sangat Bagus. Oleh sebab itu, jika mengikuti standart nilai presentase arus bocor yang dimana standart nilainya adalah ≤ 90 %, maka direkomendasikan bahwa untuk melakukan pengukuran LCM itu bisa diukur minimal 1 tahun sekali.

2) Nilai Tahanan Isolasi

TABEL VII
HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN ISOLASI (DATA LCM & DATA HASIL PEMELIHARAAN)

Wilayah	Fasa	Tahanan Isolasi (GΩ)	
		Hasil Perhitungan "Persamaan (2.2)"	Hasil Perhitungan "Tabel 3.3"
Line Bitung	R	223	66400 → 66.4
	S		85300 → 85.3
	T		31600 → 31.6
	R		20800 → 20.8
	S		56100 → 56.1
	T		44900 → 44.9

Berdasarkan tabel VIII di bawah diketahui bahwa standart nilai tahanan isolasi adalah $> 1 \text{ G}\Omega$. Dari hasil pengukuran tahanan isolasi menggunakan data LCM yang diperoleh, didapatkan bahwa hasil nilai tahanan isolasi minimum dari *bay line* Bitung itu sebesar $223 \text{ G}\Omega$. Begitupun jika dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai tahanan isolasi dari data hasil pemeliharaan yang ada pada tabel VII, dimana pada tabel tersebut diperoleh nilai tahanan isolasi dari *bay line* Bitung yang paling tinggi sebesar $85.3 \text{ G}\Omega$. Jika dibandingkan kedua hasil tersebut dengan mengikuti standart nilai minimal nilai tahanan isolasi yang ada pada tabel VIII di bawah, dimana standart nilai minimalnya itu $> 1 \text{ G}\Omega$, maka menjadi evaluasi bahwa tahanan isolasi daripada peralatan *lightning arrester* yang terpasang di Gardu Induk Likupang khususnya yang dioperasikan untuk *bay line* Bitung itu dalam kondisi yang sangat baik dan dalam kondisi yang sangat aman untuk dioperasikan.

TABEL VIII
EVALUASI DAN REKOMENDASI HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN ISOLASI LIGHTNING ARRESTER

Nilai Tahanan Isolasi	Evaluasi	Rekomendasi
$> 1 \text{ G}\Omega$	Kondisi Baik	-
$< 1 \text{ G}\Omega$	Terjadi degradasi fungsi isolasi	1. Lakukan pembersihan bagian yang diuji, lalu lakukan pengukuran ulang. 2. Bila hasil ukur tetap $< 1 \text{ G}\Omega$, maka rencanakan penggantian.

3) Nilai Tahanan Grounding

TABEL IX
HASIL NILAI TAHANAN GROUNDING MENGGUNAKAN DATA HASIL PEMELIHARAAN

Nilai Tahanan Pentanahan	Evaluasi	Rekomendasi
$< 1 \Omega$	Kondisi Baik	-
$> 1 \Omega$	Terjadi degradasi fungsi pentanahan LA	1. Lakukan pembersihan kawat pentanahan, termasuk dan baud koneksi kawat pentanahan. 2. Lakukan pengukuran ulang. 3. Bila hasil ukur tetap $> 1 \Omega$, maka rencanakan perbaikan sistem pentanahan.

Tabel IX di atas merupakan standart nilai tahanan pentanahan yang dapat menunjukkan kondisi dimana tahanan pentanahan daripada suatu peralatan listrik masih dalam kondisi baik atau masih perlu dilakukan pemeriksaan kembali. Berdasarkan hasil pentanahan dari data hasil pemeliharaan yang diperoleh di tabel VII, dan tabel VIII, didapatkan bahwa nilai pentanahan pada setiap *lightning arrester* khususnya untuk *bay line* bitung sebesar $< 1 \Omega$. Oleh sebab itu, dari hasil perhitungan nilai tahanan pentanahan tersebut jika dibandingkan dengan standart nilai tahanan pentanahan pada tabel X, diketahui bahwa nilai pentanahan *lightning arrester* yang terpasang di Gardu Induk Likupang khususnya untuk *bay line* Bitung masih dalam kondisi yang baik.

TABEL X
EVALUASI DAN REKOMENDASI HASIL PENGUKURAN NILAI TAHANAN GROUNDING

Wilayah	Fasa	GND (Ω)
Line Bitung	R	< 1
	S	< 1
	T	< 1
	R	< 1
	S	< 1
	T	< 1

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisa mengenai unjuk kerja *lightning arrester* terhadap tahanan arus bocor, tahanan isolasi dan tahanan *grounding* pada LA di Gardu Induk Likupang.

Dalam kondisi unjuk kerja yang sangat baik karena berdasarkan hasil yang didapat jika diukur dari presentase tahanan arus bocor lightning arrester untuk *bay line* Bitung menggunakan persamaan 2.1 hasil nilai presentasenya itu sangat memenuhi standart yaitu $\leq 90\%$. Begitupun nilai tahanan isolasi dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.2, didapatkan bahwa hasil tahanan isolasi *lightning arrester* untuk *bay line* Bitung yang hasilnya dari *bay line* tersebut sebesar 223 G Ω dan jika dibandingkan dengan hasil nilai tahanan isolasi dari hasil pemeliharaan yang didapat dimana nilai paling tinggi saja dari kedua *bay line* tersebut sebesar 85,3 G Ω , oleh sebab itu hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 2.2 dan hasil dari data hasil pemeliharaan itu sangat memenuhi standart yaitu > 1 G Ω . Dan hasil nilai tahanan *grounding* yang didapat menggunakan hasil dari data dari hasil pemeliharaan yang didapat dimana nilai dari *bay line* Bitung sebesar $< 1\Omega$ itu sangat memenuhi standart yang ditentukan yaitu $< 1\Omega$. Jadi diperkirakan bahwa peralatan *lightning arrester* yang terpasang di Gardu Induk Likupang khususnya untuk *Bay Line* Bitung masih bisa digunakan untuk jangka waktu yang cukup lama karena masih dalam kondisi yang sangat baik.

B. Saran

Saya berharap hasil perhitungan dan analisa yang di peroleh bisa menjadi acuan untuk pengukuran presentase arus bocor, nilai tahanan isolasi, dan pentahanan *grounding* terhadap peralatan lightning arrester.

V. KUTIPAN

- Arifin, J. (2021). Pengukuran Nilai Grounding Terbaik Pada Kondisi Tanah Berbeda. *Jurnal ELTIKOM*, 5(1), 40–47. <https://doi.org/10.31961/eltikom.v5i1.251>
- Barasa, M. C. M., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2017). 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. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/15567/15105>
- Harahap, P. A., Tharo, Z., & Darma Tarigan, A. (2021). Analisa Perbandingan Sistem Pentanahan (Grounding) Pada Power House dan Gedung Perkantoran (Studi Kasus PLTA SEI WAMPU I). *Kumpulan Karya Ilmiah Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi*, 1(1), 201.
- Jurnal, R. T. (2018). Kajian Pemasangan Lightning Arrester Pada Sisi Hv Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168–179. <https://doi.org/10.33322/energi.v9i2.42>
- Meidyani Dp, W., Putu, K., Rusmala, D., Wayan, N., Restitiasih, M., Luh, N., Trisnawati, P., Tingkat, P., Kabupaten, S. P., & Abstrak, T. (2019). *Jurnal Pendidikan Fisika Mapping the Level of Lightning Strikes in Tabanan Regency*. 7, 347.
- Okto Hendri Gunawan, M. H. A. A. N. (2021). *Analisis ARUS BOCOR TERHADAP KELAYAKAN LIGHTNING ARRESTER PADA TRAFODAYA II 60 MVA GARDU INDUK 150/20 kV JEPARA*.
- Pratomo, Patras, T. (2021). Analisa Perancangan Gardu Induk 150 kV di Kabupaten Muna. *Jurnal_Artikel Ilmiah*, 2(3), 1–10. http://repo.unsrat.ac.id/3585/1/Jurnal_Artikel_Ilmiah_a.n_Adhitya_A.Pratomo.pdf
- Rahmawati, Y., & Ishak, M. (2019). *Sistem Proteksi Terhadap Tegangan Lebih Pada Gardu Trafo Tiang 20 kV*. 12, 28–34.
- Saiful ambri. (2018). *Analisis Arrester Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Pt. Pln Rayon Soppeng*. 78. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjxfKoldL7AhWwSWwGHWu4BTAQFnoECCoQAQ&url=https%3A%2F%2Fdigilibadmin.unismuh.ac.id%2Fupload%2F1632-Full_Text.pdf&usq=AOvVaw0kVjtgk2wls2MnrTBUE9x8
- Santijatodjaja, C. A., Patras, L. S., Mangindaan, G., & Elektro-ft, J. T. (2019). Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 kV Gardu Induk Teling. *Analisa Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi 70 KV Gardu Induk Teling*, 8(1), 1–8.
- Schwarz, P., Body, J. J., Cáp, J., Hofbauer, L. C., Farouk, M., Gessl, A., Kuhn,

- J. M., Marcocci, C., Mattin, C., Muñoz Torres, M., Payer, J., Van De Ven, A., Yavropoulou, M., Selby, P., & ح. فاطمی. (2021). No Title شیمی مواد غذایی. *European Journal of Endocrinology*, 171(6), 727–735. <https://eje.bioscientifica.com/view/journals/eje/171/6/727.xml>
- Siahaan, L., Jurusan, D., Elektro, T., & Darma, U. (2019). Studi Pengaruh Flicker Pada Industri (Lancar Siahaan). *Jurnal Teknologi Energi Uda*, VIII(21), 40–54.
- Wirawan, H. Y., Al -Amin, M. S., & Emidiana. (2021). Kemampuan Arrester Sebagai Pengaman Transformator Di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Keramasan. *Tekno*, 18(1), 72–78.
- Yunus, M., Vivin Sulastri, A., & Basri Hasanuddin, Z. (2023). *Analisis Trip Pada Gardu Hubung Akibat Terjadinya Gangguan Pada Ulp Jeneponto*. 15(1), 2023.
- Za'im, M. R. (2020). Analisis Transformator Daya 3 Fasa 150 Kv/ 20 Kv Pada Gardu Indukungan Pln Distribusi Semarang. *Edu Elekrika Journal*, 3(2), 9–16.

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Timoti Zefanya Lumiu, anak Tunggal, lahir 'di Manado pada tanggal 7 Juni 2001. Penulis mulai menempuh Pendidikan TK Gmim Nafiri Malalayang pada tahun 2006. Setelah itu, penulis melanjutkan pendidikan di SD Gmim 23 Gmim Nafiri pada tahun 2007 - 2013, kemudian melanjutkan pendidikan di SMP Negeri Manado pada tahun 2013 - 2016, lalu melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 9 Manado pada tahun 2016 - 2019. Tahun 2019 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi, Sulawesi Utara. Selama perkuliahan penulis tergabung sebagai anggota organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Elektro FT-UNSRAT (HME). Penulis aktif dalam organisasi HME FT-UNSRAT sebagai pengurus HME FT-UNSRAT periode 2022-2023. Serta penulis juga aktif sebagai anggota dalam forum komunikasi mahasiswa elektro indonesia wilayah xvi. Penulis menyelesaikan studi di Program Studi Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi pada bulan juli 2023