

Analysis of Disturbances 70 kV Transmission Network and Their Mitigation

Analisa Gangguan Pada Jaringan Transmisi 70 kV dan Penanganannya

Micha Injilita Wungow, Glanny M. C. Mangindaan, Lily S. Patras

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

e-mails : michawungow023@student.unsrat.ac.id, glanny_m@unsrat.ac.id,
lily_spatras@unsrat.ac.id

Received: [date]; Revised: [date]; Accepted: [date]

Abstract — 70 kV Bitung-Likupang transmission line serves as a critical corridor for electricity distribution within its operational area. However, as an overhead line, it is prone to disturbances that can disrupt power supply. This study investigates two primary types of faults affecting the Bitung-Likupang transmission network: single-phase-to-ground short circuits and lightning-induced back flashover on the ground wire. Calculations indicate that the single-phase-to-ground short-circuit current on this line reaches 11,000 A, with a line impedance of 0.118 Ω . For lightning-induced back flashover, analysis shows that the critical insulation voltage of the tower is 1.059 kV, while the lightning strike recorded on April 7, 2024, produced a voltage of 1.080 kV—exceeding the critical threshold and resulting in a back flashover event. These findings confirm that single-phase-to-ground faults and lightning-induced back flashover are the main contributors to disturbances on this transmission line. To mitigate these issues, the study recommends enhancing lightning protection systems, conducting regular insulator maintenance, and optimizing tower grounding systems. Implementing these measures is expected to improve the reliability and continuity of the 70 kV Bitung-Likupang transmission network.

Keywords: Back flashover; Single phase to ground short circuit; Transmission network.

Abstrak — Jaringan transmisi 70 kV Bitung-Likupang merupakan salah satu jalur penting dalam penyaluran energi listrik di wilayah kerjanya. Namun, jalur ini kerap mengalami gangguan yang dapat mengganggu pasokan listrik karena merupakan saluran udara terbuka. Penelitian ini menganalisis gangguan pada jaringan transmisi 70 kV Bitung-Likupang, dengan fokus pada dua jenis gangguan utama yaitu, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan gangguan akibat sambaran petir (back flashover) pada kawat tanah. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada jaringan ini mencapai 11.000 A, dengan impedansi saluran sebesar 0,118 Ω . Untuk gangguan back flashover akibat sambaran petir, hasil analisis menunjukkan bahwa batas tegangan kritis isolasi pada tower ini adalah 1,059 kV sedangkan tegangan akibat sambaran petir yang terjadi pada 7 April 2024 tercatat sebesar 1.080 kV, sehingga melebihi batas kritis dan menyebabkan terjadinya back flashover. Temuan ini menunjukkan bahwa gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan back flashover akibat petir merupakan penyebab utama gangguan pada jaringan transmisi ini. Solusi yang diusulkan meliputi peningkatan sistem proteksi petir, perawatan isolator secara berkala, dan optimalisasi sistem pentanahan pada tower transmisi.

Kata kunci: Back flashover; Hubung singkat 1 fasa ke tanah; Jaringan transmisi.

I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan kebutuhan utama yang menunjang hampir seluruh aspek kehidupan manusia, baik dalam bidang industri, sosial, maupun rumah tangga. Keberlangsungan suplai energi listrik sangat dipengaruhi oleh keandalan sistem transmisi, yang berfungsi mengalirkan daya dari pembangkit ke pusat beban. Salah satu aspek penting dalam sistem kelistrikan adalah kemampuan jaringan transmisi untuk beroperasi secara stabil dan bebas dari gangguan, karena hal ini menjadi penentu kualitas dan kontinuitas pasokan listrik ke konsumen. Dari berbagai jenis media transmisi yang digunakan, saluran udara tegangan tinggi (SUTT) menjadi pilihan utama karena efisiensi biaya dan kemudahan pemeliharaan. Namun, saluran ini memiliki kelemahan utama berupa kerentanan terhadap gangguan eksternal seperti sambaran petir, cuaca buruk, maupun gangguan teknis lainnya. Oleh karena itu, upaya menjaga stabilitas jaringan transmisi harus disertai dengan pemahaman yang baik terhadap potensi gangguan yang mungkin terjadi. Salah satu sistem transmisi yang penting di wilayah kerja UPT Manado PT PLN (Persero) adalah jalur 70 kV Bitung–Likupang. Jalur ini memiliki peran strategis dalam mendistribusikan energi dari gardu induk Bitung ke kawasan konsumen di Likupang dan sekitarnya. Namun, fakta di lapangan menunjukkan bahwa jalur ini rentan terhadap gangguan, terutama yang bersumber dari gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah dan gangguan petir yang menyebabkan back flashover. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah terjadi ketika salah satu konduktor secara tidak sengaja bersentuhan langsung dengan tanah atau bagian lain yang terhubung ke tanah. Gangguan ini dapat menimbulkan arus tinggi yang berdampak buruk bagi sistem dan peralatan transmisi. Sementara itu, back flashover merupakan fenomena di mana loncatan tegangan dari tower ke konduktor fasa melalui isolator terjadi akibat sambaran petir, terutama jika sistem pentanahan tower kurang optimal. Gangguan-gangguan tersebut tidak hanya mengancam kestabilan sistem, tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan alat, pemadaman listrik, dan kerugian operasional. Untuk itu, diperlukan kajian teknis yang menyeluruh guna mengidentifikasi besarnya gangguan serta mengevaluasi sistem proteksi yang ada. Dengan begitu, solusi yang ditawarkan bisa lebih tepat sasaran dan berdampak nyata pada peningkatan keandalan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis gangguan utama pada jaringan transmisi Bitung–Likupang, melakukan analisis terhadap karakteristik teknisnya, serta mengusulkan strategi penanggulangan yang sesuai. Fokus diarahkan pada dua jenis gangguan dominan yaitu gangguan satu fasa ke tanah dan gangguan back flashover akibat petir. Hasil dari

analisis ini diharapkan dapat memberikan sumbangsih dalam perbaikan sistem proteksi dan peningkatan keandalan jaringan transmisi, baik pada jalur ini maupun pada jaringan serupa di wilayah lain.

A. Sistem Tenaga Listrik

Secara umum, sistem dapat diartikan sebagai sebuah kesatuan yang terdiri dari berbagai komponen atau elemen yang saling terhubung untuk mempermudah aliran informasi, materi, atau energi guna mencapai tujuan tertentu. Oleh karena itu, sebuah sistem terdiri dari komponen-komponen yang saling berhubungan dan bekerja sesuai fungsinya masing-masing untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Dalam konteks tenaga listrik, sistem tersebut akan mengalirkan energi listrik. Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari berbagai komponen, seperti unit pembangkit, saluran transmisi, gardu induk, dan jaringan distribusi, yang saling terhubung dan bekerja bersama untuk memenuhi kebutuhan pasokan tenaga listrik bagi pelanggan sesuai dengan yang dibutuhkan [3]. gambar skema sistem tenaga listrik ada pada gambar 1.

Sistem tenaga listrik terdiri dari lima sub sistem utama: pusat pembangkit, transmisi, gardu induk, jaringan distribusi, dan beban. Di pusat pembangkit, generator mengubah energi mekanis menjadi listrik, yang kemudian dinaikkan tegangannya menggunakan transformator penaik menjadi 66 kV hingga 500 kV. Tegangan tinggi ini dikirim melalui saluran transmisi untuk mengurangi arus dan rugi-rugi transmisi. Di gardu induk, tegangan diturunkan menjadi tegangan menengah (20 kV), lalu disalurkan melalui jaringan distribusi primer (JTM) dan akhirnya diturunkan lagi menjadi tegangan rendah (220/380 V) melalui trafo distribusi. Tegangan rendah ini disalurkan ke pelanggan melalui jaringan tegangan rendah (JTR), yang menggunakan saluran udara atau kabel tanah. Pelanggan dengan daya besar biasanya disambungkan langsung ke JTM atau jaringan transmisi tegangan tinggi.

B. Sistem Penyaluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan komponen sistem tenaga listrik yang berupa konduktor yang dibentang antara pembangkit dan gardu induk pusat beban atau antar gardu induk. Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi listrik dari pusat pembangkitan ke gardu induk pusat beban atau antar gardu induk [3]. Saluran transmisi pada dasarnya merupakan rangkaian listrik yang memiliki konstanta yang terbagi sepanjang saluran, terdiri atas: resistansi, induktansi, dan kapasitansi.

Pemilihan jenis saluran transmisi sangat ditentukan oleh jumlah energi yang akan disalurkan dan jarak atau panjang saluran transmisinya. Saluran transmisi, pada prinsipnya untuk menyalurkan daya listrik dengan jumlah tertentu, semakin tinggi level tegangan yang digunakan, arus yang mengalir akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya, sesuai dengan rumus:

$$P = V \times I$$

dimana

P : daya yang dikirimkan

V : tegangan saluran

I : Arus yang mengalir pada saluran

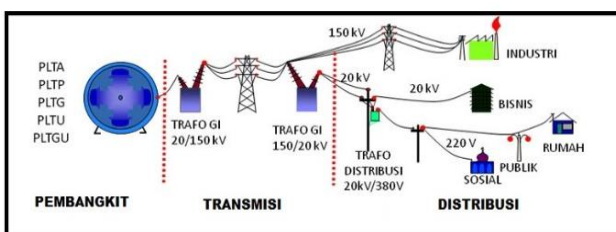
Dengan cara menaikkan level tegangan, maka arus yang mengalir pada saluran menjadi lebih kecil.

C. Komponen Utama Saluran Transmisi

Komponen-komponen utama saluran transmisi terdiri dari:

- 1) **Menara Transmisi (Tower):** Menara transmisi adalah suatu bangunan penopang saluran transmisi yang dapat berupa menara baja, tiang baja, tiang beton bertulang, atau tiang kayu. Tiang-tiang baja, beton, dan kayu umumnya digunakan pada saluran-saluran dengan tegangan kerja relatif rendah (di bawah 70 kV) sedang untuk saluran transmisi tegangan tinggi dan ekstra tinggi digunakan menara baja. Menara baja diklasifikasikan berdasarkan fungsinya yaitu menara dukung, menara sudut, menara percabangan, dan menara transposisi [5]. Jenis tower yang digunakan pada saluran transmisi bitung likupang adalah Lattice Tower dengan ketinggian tower berkisar 31,7 – 42,3 mdpl.
- 2) **Isolator:** Isolator pada saluran transmisi berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau ground, baik saat operasi normal maupun saat terjadi surja, termasuk petir, dalam saluran transmisi. Pemeliharaan isolator penting untuk menjaga kinerja dan keselamatan masyarakat yang berada di dekat tower saluran udara tingkat tinggi dan ekstra tinggi (SUTT/SUTET) [6]. Isolator saluran transmisi umumnya dibuat dari bahan porselin yang mempunyai kekuatan isolasi yang tinggi dan juga mempunyai kekuatan mekanis cukup tinggi. Hal ini karena fungsi isolator pada saluran transmisi jenis saluran udara adalah untuk mengisolasi tegangan antara kawat penghantar dengan tower penopang, sehingga semakin tinggi tegangan saluran diperlukan isolator yang semakin panjang. Selain itu fungsi isolator juga untuk menggantungkan kawat penghantar pada tower penopang.
- 3) **Kawat Penghantar (Konduktor):** Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga dengan konduktivitas 100% (Cu 100%), tembaga dengan konduktivitas 97,5 % (Cu 97,5%), dan aluminium dengan konduktivitas 61% (Al 61%). Kawat penghantar aluminium terdiri dari berbagai jenis dengan lembang sebagai berikut:
 - a. AAC = All Aluminium Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
 - b. AAAC = All Aluminium Alloy Conductor, yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium
 - c. ACSR = Aluminium Conductor Steel Reinforced, yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja
 - d. ACAR = Aluminium Conductor Alloy Reinforced, yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan campuran logam

Pada saluran transmisi Bitung-Likupang jenis kawat penghantar yang digunakan adalah ACSR, hal ini dikarenakan Kawat penghantar ACSR pada jaringan transmisi 70 kV efektif digunakan karena menggabungkan



Gambar 1 Skema Sistem Tenaga Listrik

kekuatan mekanik tinggi dan konduktivitas listrik baik, sehingga mampu menahan beban tarik dan menghantarkan arus dengan efisien dalam kondisi operasional yang aman.

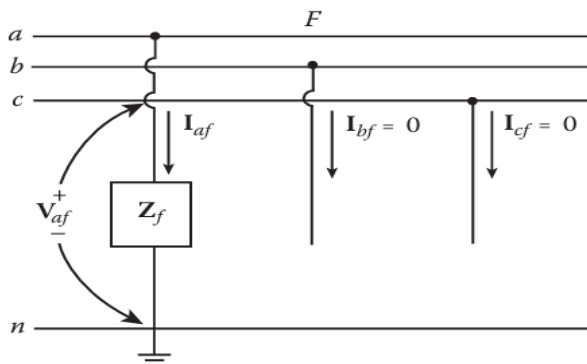
- 4) **Kawat Tanah:** Kawat Tanah atau Earth wire (kawat petir / kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat tanah adalah perisai bagi kawat fasa, karena apabila terjadi gangguan berupa sambaran petir, maka kawat tanah yang tersambar bukan kawat fasa, karena kawat tanah dipasang diatas kawat fasa. Jarak antara kawat fasa dan kawat tanah diatur sedemikian kecil, yang mana bertujuan agar perlindungan kawat tanah lebih maksimal, dan sudut kawat tanah juga diatur sekecil mungkin untuk hasil perlindungan yang lebih maksimal.

D. Gangguan Pada Saluran Transmisi

Berikut ini adalah beberapa jenis gangguan yang dapat terjadi pada jaringan transmisi tenaga listrik yang menjadi fokus utama dalam penelitian yang akan dilakukan.

- 1) Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah adalah kondisi gangguan pada sistem tenaga listrik di mana salah satu penghantar fasa secara tidak sengaja bersentuhan langsung dengan tanah atau bagian yang terhubung ke tanah. Gangguan hubung singkat dapat terjadi karena beberapa faktor, seperti kontak fisik, kondisi lingkungan, kelebihan beban, kualitas peralatan, dan usia peralatan.



Gambar 2 Gangguan 1 Fasa ke Tanah

- 2) Gangguan Back Flashover

Gangguan yang terbesar dalam sistem tenaga listrik terjadi di daerah penyaluran (transmisi) dan diantara sekian banyak gangguan yang terjadi, petir merupakan salah satu penyebabnya. Terdapat dua macam sambaran petir, yaitu sambaran petir langsung (*direct stroke*) dan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*). Sambaran petir langsung terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya. Sedangkan sambaran petir tidak langsung terjadi apabila petir menyambar objek di dekat saluran. Gangguan yang disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) pada kawat tanah saluran udara tegangan tinggi adalah fenomena back-flashover. *Back flashover* adalah Loncatan arus listrik (busur api) yang bermula dari menara atau tanah menuju konduktor fasa melalui isolator, biasanya disebabkan oleh kenaikan tegangan pada menara setelah terjadi sambaran petir pada kawat tanah atau menara, sehingga tegangan pada isolator melampaui batas kemampuannya yang disebabkan oleh sistem pentanahan yang buruk. Sedangkan *flashover* itu ketika tegangan yang menghantam isolator melebihi batas kemampuannya, maka akan terjadi tegangan tembus merupakan loncatan arus listrik

(busur api) yang berlangsung secara langsung antara konduktor fasa dengan tanah atau komponen lain akibat tegangan berlebih, umumnya terjadi karena petir menyambar langsung kawat fasa atau isolator.

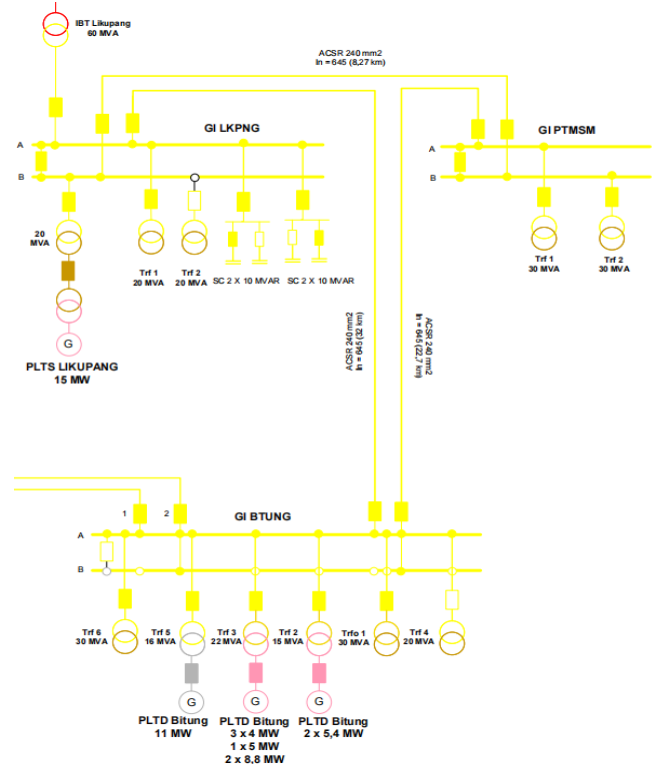
E. Solusi Terhadap Gangguan Pada Saluran Transmisi

Menjaga stabilitas sistem transmisi listrik memerlukan penerapan strategi pencegahan yang efektif terhadap gangguan, khususnya gangguan hubung singkat dan back flashover. Upaya untuk mencegah gangguan hubung singkat dapat dilakukan dengan melakukan perawatan rutin terhadap peralatan, menerapkan sistem proteksi seperti rele jarak dan pemutus arus, merancang jaringan dengan mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar, serta menggunakan komponen berkualitas tinggi yang tahan terhadap beban operasional. Sementara itu, penanganan gangguan back flashover akibat petir dapat dilakukan dengan meningkatkan kualitas sistem pentanahan, memperbaiki fungsi arching horn, serta menambahkan perangkat proteksi seperti TLSA dan DGS. Dari berbagai metode tersebut, peningkatan sistem pentanahan dinilai sebagai solusi yang paling efektif dan ekonomis, khususnya untuk saluran udara tegangan tinggi (SUTT), karena memiliki dampak langsung terhadap keberlangsungan dan keandalan penyaluran energi listrik.

II. DATA DAN PERHITUNGAN

A. Saluran Transmisi Bitung-Likupang 70 kV

Penelitian ini akan dilakukan pada saluran transmisi Bitung-Likupang yang memiliki panjang saluran 22,73 km, yang berarti saluran ini termasuk dalam kelompok saluran pendek karena berada <80 km. Dibawah ini adalah single line diagram dari jaringan transmisi bitung likupang, yang terbagi dalam 2 Line dimana line 1 adalah Bitung-Likupang, dan Line 2 adalah Bitung-MSM.



Gambar 3 SLD Saluran Bitung-Likupang

TABEL 1

Data Bay Line GI Bitung - Likupang

Nama	Keterangan
Rute Transmisi	Bitung - Likupang
Konduktor	ACSR 24 mm ²
Tipe	HAWK
Diameter	21,8 mm ²
Panjang Saluran	22,73 km
Jumlah Tower	110
Kuat Hantar Arus	638 A
Isolator	Ceramic

C. Data Teknis Saluran Transmisi

Untuk mendukung analisis terhadap kinerja dan keandalan sistem transmisi 70 kV Bitung-Likupang, diperlukan pemahaman mengenai spesifikasi teknis transformator yang digunakan di Gardu Induk (GI) Bitung. Data spesifikasi ini menjadi acuan dalam melakukan perhitungan dan evaluasi terhadap sistem transmisi, dalam mengidentifikasi potensi gangguan serta menentukan langkah pemeliharaan yang tepat.

TABEL 2

Data Spesifikasi Transformator GI Bitung

	Trafo 1 GI	Trafo 2 GI	Trafo 3 GI
Trafo	Bitung	Bitung	Bitung
Buatan	UNINDO	UNINDO	UNINDO
Daya	30 MVA	30 MVA	22 MVA
Tegangan	70/20 Kv	70/6 Kv	70/6 kV
Impedansi	12.06%	9%	9%
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Vector Group	YNyn0	YNd5	YNd5

TABEL 3

Data Spesifikasi Transformator GI Bitung

	Trafo 4 GI	Trafo 5 GI	Trafo 6 GI
Trafo	Bitung	Bitung	Bitung
Buatan	PASTI	UNINDO	UNINDO
Daya	20 MVA	16 MVA	30 MVA
Tegangan	70/20	70/11 Kv	70/20 kV
Impedansi	11.92%	10.30%	12.40%
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Vector Group	YNyn0d1	YNd5	Ynyn0

TABEL 4

Data Spesifikasi Transformator GI Likupang

Trafo	Trafo 1 GI Likupang	Trafo 2 GI Likupang	Trafo 3 GI Likupang
Buatan	PAUWELS	UNINDO	SCHNEIDER
Daya	20 MVA	20 MVA	20 MVA
Tegangan	70/20 kV	70/20 kV	66/20 kV
Impedansi	12.40%	11.79%	10.09%
Frekuensi	50 Hz	50 Hz	50 Hz
Vector Group	YNyn0(d5)	YNyn0(d5)	YNd11

TABEL 5

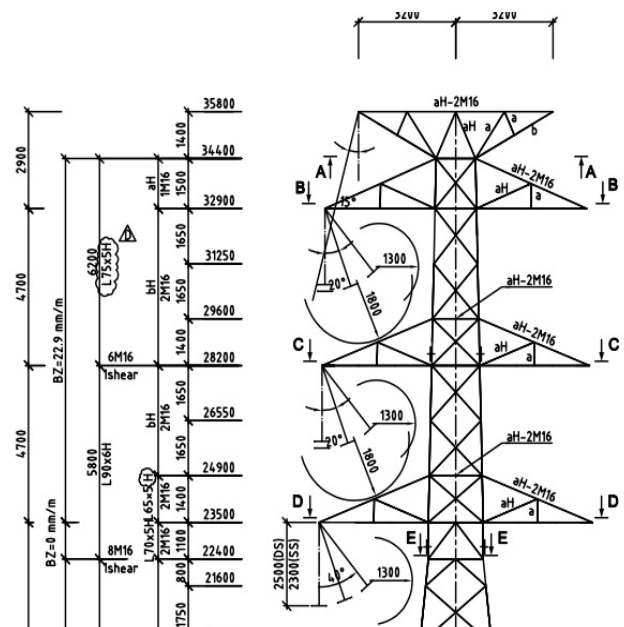
Tabel Impedansi Saluran

Panjang Saluran (km)	Urutan Positif (Z1)		Urutan Negatif (Z2)		Urutan Nol (Z0)	
	R/km	jX/km	R/km	jX/km	R/km	jX/km
22,73	-0,017	0,008	-0,017	0,008	0,000	0,001

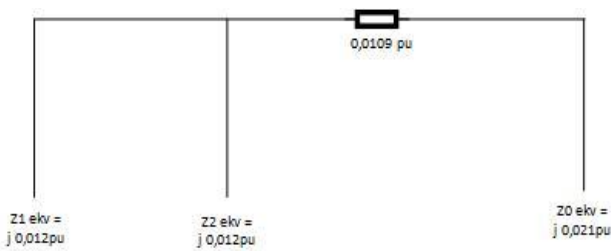
TABEL 6

Data Gangguan

Waktu Gangguan	Fault Locator		Penyebab Gangguan	
Tanggal	Jam (WITA)	No Tower		Line
07 April 2024	4:22:00 AM	11	Line 1	Petir



Gambar 4 Konfigurasi Tower Transmisi



Gambar 5 SLD GI Bitung ke GI Likupang

D. Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

1) Menghitung Nilai Impedansi Saluran Transmisi

Untuk mencari nilai impedansi saluran transmisi, terlebih dahulu kita harus mengetahui nilai GMD, GMR, Induktansi dan kapasitansi pada saluran transmisi. Perhitungan GMD (Geometric Mean Distance) dan GMR (Geometric Mean Radius).

Dalam perhitungan nilai impedansi saluran transmisi, kita membutuhkan konfigurasi tower yang digunakan pada saluran transmisi Bitung-Likupang. Berdasarkan gambar 3 diatas, maka GMD dan GMR dapat diperoleh sebagai berikut:

Diketahui

Jenis Konduktor: ACSR 240mm

$$d = 21,8 \text{ mm}$$

$$r = 10,9 \text{ mm} = 0,0109 \text{ m}$$

$$D_s = 0,7788 \text{ m}$$

$$D_{12} = 4,7 \text{ m}$$

$$D_{23} = 4,7 \text{ m}$$

$$D_{31} = 9,4 \text{ m}$$

Maka nilai GMD (Geometric Mean Distance) bisa diperoleh sebagai berikut:

$$GMD = \sqrt[3]{4,7 \times 4,7 \times 9,4}$$

$$GMD = \sqrt[3]{207,65}$$

$$GMD = 5,91 \text{ m}$$

Untuk nilai GMR (Geometric Mean Radius) bisa dihitung sebagai berikut:

$$GMR = \sqrt[9]{(0,0109 \times 0,7788)^3 \times 4,7^4 \times 9,4^2}$$

$$GMR = \sqrt[9]{(0,0085)^3 \times 4,7^4 \times 9,4^2}$$

$$GMR = \sqrt[9]{0,02648} = 0,667 \text{ m}$$

$$GMR = 0,667 \text{ m}$$

a. Perhitungan Induktansi dan Induktif Saluran

Setelah didapatkan nilai GMD dan GMR dari sebuah konduktor, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai induktansi (L) sebagai berikut :

Diketahui:

$$GMD = 5,91 \text{ m}$$

$$GMR = 0,667 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{GMD}{GMR}\right) \text{ H/m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{5,91}{0,667}\right)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \ln(8,86)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times 2,1813$$

$$L = 4,362 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

Dari nilai induktansi diatas, kita bisa mencari nilai reaktansi induktif (XL) berdasarkan data yang diketahui menggunakan rumus sebagai berikut.

Diketahui:

$$L = 4,362 \times 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\pi = 3,14$$

Maka nilai reaktansi induktif adalah :

$$XL = 2 \times \pi \times f \times L \Omega$$

$$XL = 2 \times 3,14 \times 50 \times 4,362 \times 10^{-7} \Omega$$

$$XL = 19,978 \times 10^{-5} \Omega$$

$$XL = 0,00019978 \Omega$$

b. Perhitungan Kapasitansi dan Kapasitif Saluran

Untuk mencari nilai kapasitansi saluran, kita juga membutuhkan nilai GMD dan GMR serta data yang ada, perhitungan nilai kapasitansi ini menggunakan rumus sebagai berikut.

Diketahui:

$$D = 5,91 \text{ m}$$

$$r = 0,0109 \text{ m}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

maka nilai Cn :

$$C_n = \frac{0,0388}{\log\left(\frac{D}{r}\right)} \mu\text{F/m}$$

$$C_n = \frac{0,0388}{\log\left(\frac{5,91}{0,0109}\right)} \mu\text{F/m}$$

$$C_n = 0,01419 \mu\text{F/m}$$

Dengan nilai kapasitansi yang didapat yaitu 0,01419 $\mu\text{F/m}$, selanjutnya kita dapat menghitung nilai reaktansi kapasitif.

Diketahui:

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$\pi = 3,14$$

$$C_n = 0,01419 \mu\text{F/m} = 0,01419 \times 10^{-6} \text{ F}$$

Maka nilai Xc :

$$X_c = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times C_n}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,01419 \times 10^{-6}}$$

$$X_c = 0,2244 \times 10^6 \Omega$$

c. Perhitungan Resistivitas Saluran

Perhitungan resistivitas saluran dilakukan untuk mendapatkan nilai impedansi, perhitungan ini menggunakan data yang ada.

Diketahui:

$$A = 240 \text{ mm}^2 = 2,4 \times 10^{-10} \text{ km}^2$$

$$l = 1 \text{ km}$$

$$P20 = P20 = 2,83 \mu\Omega/\text{cm} = 2,83 \times 10^{-11} \Omega/\text{km}$$

$$R20 = \frac{\rho \times l}{A}$$

$$R20 = \frac{2,83 \times 10^{-11} \times 1}{2,4 \times 10^{-10}}$$

$$R20 = 0,118 \Omega/\text{km}$$

d. Perhitungan Impedansi Saluran

Perhitungan impedansi urutan dari saluran transmisi ini dapat diperoleh melalui data-data impedansi pada transformator yang ada di GI Bitung dan GI Likupang.

Diketahui:

$$Z_{TL} = 0,118 \angle 0,097^\circ$$

$$X_{Trf1} \text{ Bitung} = 12,06 \% = 0,1206 \text{ pu}$$

$$X_{Trf2} \text{ Bitung} = 9 \% = 0,09 \text{ pu}$$

$$X_{Trf3} \text{ Bitung} = 9 \% = 0,09 \text{ pu}$$

$$X_{Trf4} \text{ Bitung} = 11,92 \% = 0,1192 \text{ pu}$$

$$X_{Trf5} \text{ Bitung} = 10,3 \% = 0,103 \text{ pu}$$

$$X_{Trf6} \text{ Bitung} = 12,43 \% = 0,1243 \text{ pu}$$

$$X_{Trf1} \text{ Likupang} = 12,4 \% = 0,124 \text{ pu}$$

$$X_{Trf2} \text{ Likupang} = 11,79 \% = 0,1179 \text{ pu}$$

$$X_{Trf1} \text{ Likupang} = 10,9 \% = 0,109 \text{ pu}$$

$$MVABase = 20 \text{ MVA}$$

$$KVABase = 70 \text{ kv}$$

$$I = 22,73 \text{ km}$$

Maka perhitungan impedansi urutan positif dan negatif dapat dihitung seperti dibawah ini

$$Z_{Base} = \frac{70^2}{20} = 245 \Omega$$

$$Z_{TL} = \frac{0,118 \times 22,73}{245} = 0,0109 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf1 Bitung} = 0,1206 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{30} = j 0,0804 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf2 Bitung} = 0,09 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{15} = j 0,12 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf3 Bitung} = 0,09 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{22} = j 0,08 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf4 Bitung} = 0,1192 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{20} = j 0,1192 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf5 Bitung} = 0,103 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{16} = j 0,128 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf6 Bitung} = 0,1243 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{60}{30} = j 0,2486 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf1 Likupang} = 0,124 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{20} = j 0,124 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf2 Likupang} = 0,1179 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{20} = j 0,1179 \text{ pu}$$

$$X_{pu} \text{ baru Trf3 Likupang} = 0,109 \times \left(\frac{70}{70}\right)^2 \times \frac{20}{20} = j 0,109 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Bitung} = \frac{0,0804 \times 0,12}{0,0804 + 0,12} = j 0,048 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Bitung} = \frac{0,08 \times 0,048}{0,08 + 0,048} = j 0,03 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Bitung} = \frac{0,03 \times 0,1192}{0,03 + 0,1192} = j 0,023 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Bitung} = \frac{0,128 \times 0,023}{0,128 + 0,023} = j 0,019 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Bitung} = \frac{0,2486 \times 0,019}{0,2486 + 0,019} = j 0,017 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Likupang} = \frac{0,124 \times 0,1179}{0,124 + 0,1179} = j 0,06 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Likupang} = \frac{0,109 \times 0,06}{0,109 + 0,06} = j 0,038 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} \text{ Likupang} = 0,038 + 0,0109 = j 0,0489 \text{ pu}$$

$$Z_{lekv} = \frac{0,0489 \times 0,017}{0,0489 + 0,017} = j 0,012 \text{ pu}$$

Untuk Z ekivalen urutan nol dapat diperoleh sebagai berikut:

$$Z_{NGR} = 3 \frac{40}{245} = j 0,48 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Bitung} = \frac{(0,48 + 0,0804)(0,48 + 0,12)}{0,48 + 0,0804 + 0,48 + 0,12} = j 0,3 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Bitung} = \frac{(0,3 + 0,08)(0,3 + 0,1192)}{0,3 + 0,1192 + 0,3 + 0,1192} = j 0,198 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Bitung} = \frac{(0,198 + 0,128)(0,198 + 0,2486)}{0,198 + 0,128 + 0,198 + 0,2486} = j 0,221 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Likupang} = \frac{(0,48 + 0,124)(0,48 + 0,1179)}{0,48 + 0,124 + 0,48 + 0,1179} = j 0,298 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Likupang} = \frac{0,298 \times 0,109}{0,298 + 0,109} = j 0,079 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} \text{ Likupang} = 0,079 + 0,48 = j 0,559 \text{ pu}$$

$$Z_{0ekv} = \frac{0,559 \times 0,0221}{0,559 \times 0,0221} = j 0,021 \text{ pu}$$

Kita juga perlu membuat SLD dari dua GI yang ada, seperti gambar 5

2) Perhitungan Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Setelah memperoleh nilai impedansi dari saluran transmisi Bitung-Likupang, selanjutnya kita akan menghitung nilai gangguan hubung singkat, untuk mendapatkan nilai arus gangguan kita perlu mencari terlebih dahulu nilai arus beban penuh.

a. Perhitungan Arus Beban Penuh

Perhitungan arus beban penuh ini diperlukan data dari daya dan tegangan.

Diketahui:

$$\text{Daya} = 20 \text{ MVA} = 2000 \text{ kv}$$

$$\text{Tegangan} = 70 \text{ kv}$$

$$IF1 = \frac{2000}{70 \text{ kV} \times \sqrt{3}} = 164,95 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan arus beban penuh diatas maka hasil yang diperoleh adalah 164,95 A.

b. Perhitungan Nilai Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

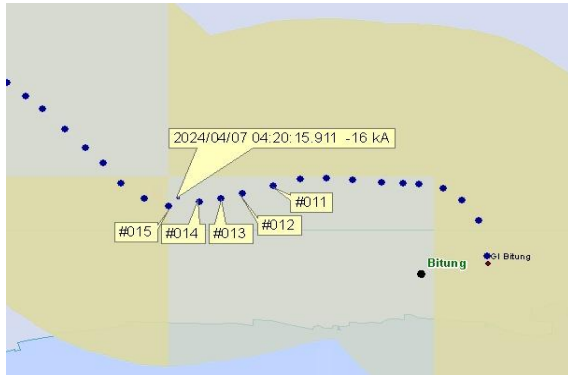
Diketahui:

$$Z1 = Z2 = 0,012 \times 245$$

$$Z1 = Z2 = 2,94 \Omega$$

$$Z0 = 0,021 \times 245 = 5,145 \Omega$$

Untuk mendapatkan nilai arus gangguan, terlebih dahulu kita harus mencari nilai tegangan 1 fasa ke tanah:



$$V_{LN} = \frac{V_{3\Phi}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{LN} = \frac{70.000}{\sqrt{3}} = 40.414,5188$$

$$V_{\perp} = 40,415 \text{ V}$$

Sehingga:

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_f = \frac{3 \cdot 40,415}{2,94 + 2,94 + 5,145}$$

$$I_f = \frac{121,245}{11,025}$$

$$I_f = 11.000 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, Dilihat bahwa nilai gangguan hubung singkat yang terjadi disaluran ini adalah 11.000 A.

E. Perhitungan Gangguan Back Flashover

Untuk menganalisa gangguan back flashover kita memerlukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

1) Sudut Lindung Earth Wire

Diketahui:

Tinggi tower (h) : 35,4 m

Jarak EW- Fasa R : 2,9 m

Jarak Badan tower – ujung fasa : 1,3 m

$$a = \tan^{-1} \frac{1,3}{2,9}$$

$$a = \tan^{-1} 1,102$$

$$a = 24,14^{\circ}$$

Perhitungan arus maksimum sebelum terjadi shielding failure, pada tower 11 dengan spesifikasi seperti diatas, sebagai berikut.

Diketahui:

$$\sin a = 24,14^{\circ}$$

$$a = 0,408$$

$$I = \left(\frac{35,4}{6,7 (1 - 0,408)} \right)^{1,25}$$

$$I = \left(\frac{35,4}{6,7 \times 1,0592} \right)^{1,25}$$

$$I = \left(\frac{35,4}{3,9704} \right)^{1,25}$$

$$I = (8,92)^{1,25}$$

$$I = 14,53 \text{ kA}$$

Untuk menghitung tegangan maksimum, menggunakan data yang ada pada gambar 6.

Diketahui:

$$I : 16 \text{ kA}$$

$$R_t : 2,73 \text{ ohm}$$

$$L : 35,4 \mu\text{H}$$

$$\frac{di}{dt} : 30 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

Penyelesaian:

$$V_{max} = 35,4 \times 30 + 16 \times 2,73$$

$$V_{max} = 1.080 \text{ kV}$$

2) Metode Bola Bergulir

Perhitungan daerah lindung dengan menggunakan metode bola bergulir merupakan alternatif penentuan jarak sambaran terhadap penangkal petir, berikut perhitungan radius bola bergulir (r) sebagai berikut.

Diketahui:

$$I \text{ (arus sambaran petir)} = 16 \text{ kA}$$

$$r = 6,7 \times 16^{0,8}$$

$$r = 6,7 \times 9,189$$

langkah selanjutnya adalah menghitung sudut lindung penangkal petir persamaan sebagai berikut:

Diketahui:

$$h = 35,4 \text{ m}$$

$$I = 16 \text{ kA}$$

$$r = 61,56 \text{ m}$$

$$r = 61,56 \text{ m}$$

$$a = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{35,4}{61,56} \right) \right]$$

$$a = \sin^{-1} [1 - 0,56]$$

$$a = \sin^{-1} 0,44$$

$$a = 26,10^{\circ}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, hasil nilai dari sudut lindung earth wire yaitu $26,10^{\circ}$.

III. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Perhitungan arus gangguan hubung singkat ini diawali dengan perhitungan impedansi saluran, impedansi urutan, arus beban penuh dan dilanjutkan dengan perhitungan gangguannya. Dimana hasil yang didapatkan ada pada tabel 7:

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{L-N}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$I_f = \frac{3 \cdot 40,415}{2,94 + 2,94 + 5,145}$$

$$I_f = \frac{121,245}{11,025}$$

$$I_f = 11.000 \text{ A}$$

Dari perhitungan ini didapatkan hasil arus gangguan sebesar 11.000 A yang berarti jauh lebih besar dari arus beban penuh yang hanya 164.95 A. Hal ini menunjukkan bahwa pada saluran transmisi 70 kV Bitung-Likupang telah terjadi gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah yang ditunjukkan dengan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah lebih besar dari arus beban penuh.

TABEL 7

Hasil Perhitungan Parameter Saluran 70 kV Bitung-Likupang

Nama	Uraian
Arus Beban Penuh	164.95 A
Tegangan Fasa (VL-N)	40.415 V
Impedansi Positif (Z1)	2.94 Ω
Impedansi Negatif (Z2)	2.94 Ω
Impedansi Nol (Z0)	5.145 Ω

B. Hasil Perhitungan Gangguan Back Flashover

TABEL 8

Hasil Perhitungan Gangguan Back Flashover

Nama	Uraian
Tinggi Tower	35.4 m
Sudut Lindung Earth Wire	26,10°
Radius Bola Bergulir	61.56 m
Arus Maksimum Shielding Failure	14.53 kA
Tegangan Maksimum	1.080 kV
Basic Insulation Level (BIL)	1059 kV

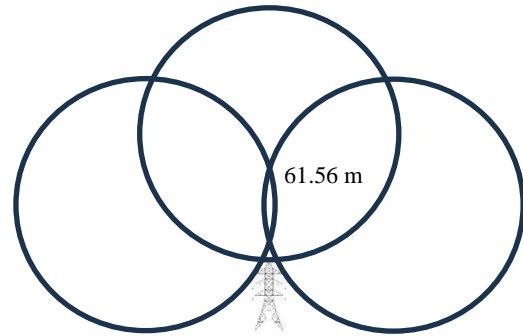
Perhitungan gangguan back flashover dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem perlindungan terhadap sambaran petir, khususnya pada kawat tanah (earth wire) dan struktur tower transmisi 70 kV Bitung-Likupang. Salah satu indikator utama dalam analisa ini adalah arus maksimum sebelum terjadi shielding failure, yang menunjukkan batas kemampuan kawat tanah dalam mengalihkan arus petir ke tanah tanpa menyebabkan loncatan tegangan (flashover) pada isolator.

Analisa gangguan back flashover dilakukan dengan menghitung sudut lindung earth wire, arus maksimum sebelum terjadi shielding failure serta penggunaan metode bola bergulir, dimana dari perhitungan yang dilakukan didapatkan hasil seperti pada tabel 8 :

Dari perhitungan diperoleh bahwa arus maksimum yang dapat ditahan sistem sebelum terjadi kegagalan perlindungan adalah sebesar 14,53 kA. Nilai ini menunjukkan bahwa sambaran petir dengan arus di bawah 14,53 kA masih dapat dialirkan ke tanah melalui sistem grounding tower tanpa menimbulkan gangguan pada isolator. Namun, jika terjadi sambaran petir dengan arus di atas nilai tersebut, maka energi petir yang disalurkan ke tanah akan menghasilkan lonjakan tegangan pada kaki tower yang dapat menyebabkan tegangan tembus pada isolator, sehingga terjadi back flashover dari struktur tower ke konduktor fasa.

Dari hasil perhitungan pada tabel 8, juga dapat dilihat bahwa tegangan pada tower saat menyambar pada earth wire sebesar 1.080 kV, sedangkan tegangan tembus isolator sesuai dengan spesifikasi terpasang sebesar 1059 kV. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa saat tower terkena sambaran petir secara langsung terjadi fenomena back flashover dimana 1080 kV > 1059 kV.

C. Metode Bola Bergulir



Gambar 7 Analisa Bola Bergulir

Metode bola bergulir merupakan pendekatan geometris yang digunakan dalam perancangan dan evaluasi sistem proteksi petir, terutama pada instalasi luar ruang seperti saluran transmisi dan gardu induk. Konsepnya adalah dengan membayangkan sebuah bola berukuran tertentu, yang digelindingkan di atas seluruh struktur sistem. Jika bola tersebut menyentuh bagian dari konduktor, isolator, atau komponen lainnya tanpa terhalangi oleh kawat tanah atau penangkal petir, maka bagian tersebut dianggap tidak terlindungi dari sambaran langsung petir.

Analisa metode bola bergulir pada jaringan transmisi 70 kV Bitung-Likupang pada gambar 7 menggunakan bola dengan radius 61,56 meter. Lingkaran-lingkaran pada gambar menunjukkan area yang dapat dijangkau oleh bola bergulir, di mana titik-titik yang tidak tersentuh bola (area di bawah perpotongan lingkaran tepat di atas tower) merupakan daerah yang terlindungi dari sambaran petir langsung.

D. Solusi Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah

Berdasarkan hasil perhitungan yang menunjukkan bahwa arus gangguan satu fasa ke tanah pada jaringan transmisi 70 kV Bitung-Likupang mencapai 11.000 A, maka diperlukan solusi yang dapat mengatasi kondisi tersebut. Adapun solusi yang disarankan adalah sebagai berikut:

- 1) Pemeriksaan dan Pemeliharaan Rutin
 - a. Pengujian tahanan isolasi (megger test) secara berkala pada kabel, isolator, dan bushing.
 - b. Pemeriksaan visual pada tower dan peralatan untuk mendeteksi kerusakan fisik atau kontaminasi (polusi, kelembaban, retakan)..
 - c. Pembersihan isolator terutama di daerah pesisir, industri, atau lembab untuk mencegah flashover akibat jalur bocor pada permukaan isolator..
- 2) Peningkatan Sistem Pentanahan Tower

Kebocoran pada saluran udara dapat mengurangi tekanan dan volume udara yang disuplai ke ruang bakar. Oleh karena itu, diperlukan pemeriksaan berkala serta penyegelan ulang sambungan saluran untuk meminimalkan kehilangan tekanan.

 - a. Tahanan pentanahan (ground resistance) untuk setiap tower harus diperhatikan lagi dimana ground resistance harus < 5 Ω agar arus gangguan bisa langsung dibuang ke tanah tanpa menimbulkan tegangan sentuh yang tinggi.
 - b. Pastikan koneksi antar kawat pentanahan dan struktur tower memiliki kualitas mekanis dan konduktivitas yang baik

(misalnya sambungan las atau pengikat tahan korosi).

E. Solusi Gangguan Back Flashover

- 1) Peningkatan Desain Kawat Tanah (Earth Wire)
 - a. Tingkatkan tinggi pemasangan kawat tanah agar sudut lindung meningkat $> 30^\circ$, sehingga konduktor fasa tetap berada di dalam zona perlindungan.
 - b. Pasang kawat tanah ganda (double earth wire) pada saluran transmisi dengan bentang lebar atau 3 fasa horizontal, guna menutupi area yang lebih luas dari sambaran petir.
- 2) Perbaiki Sistem Pentanahan Tower
 - a. Turunkan tahanan pentanahan tower menjadi $< 5 \Omega$, idealnya $< 2 \Omega$ untuk daerah rawan petir.
 - b. Gunakan ground rod tambahan, grid tanah, atau bahan tanah buatan (bentonit, garam, arang aktif) di lokasi tower yang tahanan tanahnya tinggi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis gangguan pada saluran transmisi 70 kV Bitung–Likupang, dapat disimpulkan beberapa poin utama berikut:

- 1) Jenis gangguan utama yang terjadi pada jaringan transmisi 70 kV Bitung–Likupang adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dan gangguan akibat sambaran petir (back flashover) yang mengenai kawat tanah (earth wire). Gangguan-gangguan ini merupakan penyebab utama terjadinya gangguan pada sistem transmisi dan berpotensi menurunkan keandalan serta kontinuitas penyaluran energi listrik kepada konsumen.
- 2) Solusi pemeliharaan yang efektif untuk mengatasi gangguan-gangguan tersebut meliputi:
 - a. Pemeriksaan dan pemeliharaan rutin pada isolator, kawat penghantar, dan kawat tanah untuk mencegah terjadinya gangguan hubung singkat maupun kerusakan akibat petir
 - b. Perbaiki sistem pentanahan (grounding), yang sesuai standar untuk saluran transmisi 70 kV adalah dibawah 5 ohm.
 - c. Penerapan sistem proteksi yang tepat, seperti penggunaan kawat tanah dan penangkal petir yang dirancang sesuai standar, penerapan metode bola bergulir untuk memastikan area perlindungan optimal pada tower transmisi.
 - d. Pemantauan kondisi peralatan secara berkala dan penanganan cepat terhadap indikasi gangguan guna menjaga keandalan serta kontinuitas penyaluran energi listrik

Dengan memperhatikan hasil analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa peningkatan sistem proteksi, pemeliharaan berkala, dan evaluasi menyeluruh terhadap sistem pentanahan dan isolasi sangat penting untuk menjaga kontinuitas dan keandalan penyaluran tenaga listrik pada SUTT 70 kV Bitung–Likupang.

B. Saran

Hasil dari skripsi ini diharapkan dapat menjadi referensi penting dalam memahami dan menangani gangguan yang terjadi pada saluran transmisi 70 kV Bitung–Likupang. Temuan dan solusi yang diusulkan dalam penelitian ini kiranya dapat dijadikan bahan pertimbangan bagi pihak terkait dalam upaya

meningkatkan keandalan sistem transmisi, khususnya dalam mengatasi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah serta back flashover akibat sambaran petir. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai acuan dan dasar bagi penelitian-penelitian selanjutnya yang memiliki fokus serupa, sehingga pengembangan teknologi dan strategi proteksi sistem tenaga listrik di masa depan dapat berjalan lebih efektif dan efisien. Oleh karena itu, disarankan agar penelitian lanjutan memperdalam analisis dengan metode simulasi dan evaluasi lapangan yang lebih komprehensif.

V. REFERENSI

- [1] A. Srinaldi, Muliadi, syukri, M. R. Azmi, and Husaini, "Proteksi Jaringan Transmisi Saluran Udara dengan Menggunakan Relay Jarak," *Aceh J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–11, 2021.
- [2] G. Induk and S. Tiga, "Jurnal Teknik Elektro Analysis of Distance Relay Protection on 150 kV High Voltage Overhead Lines Jurnal Teknik Elektro," vol. 14, no. 2, pp. 90–102, 2024.
- [3] I. S. Suropto and M. Eng, "SISTEM TENAGA LISTRIK," 2017.
- [4] Wibowo, S. S. (2018). *Analisa Sistem Tenaga: Analisa Sistem Tenaga (Vol. 1)*. UPT Percetakan dan Penerbitan Polinema.
- [5] W. F. Galla, A. S. Sampeallo, and A. Lenjo, "Analisis Tegangan Saluran Transmisi 70 Kv Pada Sistem Timor Dengan Parameter Abcd," *J. Media Elektro*, vol. IX, no. 1, pp. 10–21, 2020, doi: 10.35508/jme.v0i0.2673.
- [6] J. T. I. Kume, I. F. Lisi, and S. Silimang, "Analisa Gangguan Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 Kv Penyulang Sl 3 Gi Teling Manado," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 5, no. 4, pp. 46–52, 2016.
- [7] T. D. A. N. Distribusi and R. Syahputra, "How to address the gray market threat using price coordination," *Long Range Plann.*, vol. 28, no. 4, p. 131, 1995, doi: 10.1016/0024-6301(95)94318-s.
- [8] Haryanty, E. (2022). *Pemeliharaan Isolator Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi Pt Pln (Persero) Upt Probolinggo*.
- [9] PLN. (1993). *SPLN 10-3B: Klasifikasi Tingkat Polusi Isolator*. [PDF]
- [10] A. Bachtiar and R. Irwanto, "Studi Analisa Probabilitas Perlindungan Kawat Tanah Terhadap Gangguan Kilat Pada Kawat Fasa Berdasarkan Tipe Tower Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV," *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 2, pp. 189–198, 2017, doi: 10.21063/jte.2017.3133625.
- [11] Rahmono, B. C. (2019). *Studi Perhitungan Tegangan Back Flashover di Terminal Isolator pada Sutet 275 kV Bengkayang-Mambong Akibat Sambaran Petir Langsung*. *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, 7(1)
- [12] NN, A. W. (2012). *ANALISIS BACK-FLASHOVER DENGAN MODEL MENARA CONSTANT-PARAMETER DISTRIBUTED LINE (CPDL) PADA SALURAN TRANSMISI 70 kV (GI Bukit Kemuning–GI Batu Raja)*. Digital Library.

- [13] Safarudin, I., Hernandez, A., & Hutapea, G. (2021). Studi Kegagalan Perlindungan Kawat Tanah Terhadap Sambaran Petir Pada Saluran Transmisi 70 kV. *JURNAL TEKNOLOGI ENERGI UDA: JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 10(2), 60-67
- [14] W. P. Rarun et al., “Analisis Grounding Pada Tower Transmisi 150 kV Untuk Mencegahnya Terjadinya Back Flashover di Jalur Lopana – GIS Teling”.
- [15] A. Permana et al., “Pedoman Pemeliharaan Pemisah Tenaga. Review dan Revisi KEPDIR No. 0520 K/DIR/2014,” *Penyaluran Tenaga Listrik PT PLN (Persero) (Pedoman Pemeliharaan Peralatan)*, Jakarta, Indonesia, 2024

TENTANG PENULIS



Micha Injilita Wungow, penulis adalah anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Singsingon, Kab Bolaang Mongondow, Kec Passi Timur, Provinsi Sulawesi Utara, pada tanggal 8 Juli 2003. Penulis menempuh pendidikan pertama di sekolah dasar Negeri 3 Singsingon pada tahun 2009 sampai 2015, kemudian melanjutkan pendidikan kedua di Sekolah Menengah Pertama Negeri 4 Passi pada tahun 2015 sampai 2018. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di sekolah menengah atas swasta Katolik Theodorus Kotamobagu dari tahun 2018 sampai 2021. Di tahun yang sama penulis memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2023. Dalam menempuh pendidikan, penulis telah mengikuti beberapa program magang, yang pertama program Magang Bersertifikat dan Studi Independen (MSIB) di PT PLN (Persero) Unit Induk Distribusi Suluttenggo, yang berlokasi di Jl. Bethesda No.32, Ranotana, Kec. Sario, Kota Manado, Sulawesi Utara pada bulan Februari hingga bulan Juni tahun 2024 selama satu semester. Kemudian pada bulan Juli sampai Agustus 2024 penulis mengikuti kerja praktek atau magang yang kedua di Unit Pelaksana Transmisi Manado yang berlokasi di Jl. Tompakwa No.1, Bumi Nyiur, Kec. Wanea, Kota Manado, Sulawesi Utara. Kemudian pada bulan Februari sampai Juni tahun 2025, penulis melakukan penelitian dan pengambilan data di UPT Manado. Penulis juga merupakan Bendahara Himpunan Mahasiswa Elektro periode tahun 2023/2024.