



Perlindungan Kawat Fasa dengan Optimalisasi Sudut Lindung Kawat Tanah dan Penempatan Lightning Arrester

Liliana^{1*}, Aini Z², Badri S³, Ardi G.A⁴ 

^{1,2,4} Teknik Elektro, UIN Suska Riau, Pekanbaru, Indonesia

³ Teknik ELEktroi, Institut Teknologi Padang, Padang, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history:

Received October 19, 2021

Revised October 20, 2021

Accepted January 20, 2022

Available online April 25, 2022

Kata Kunci:

Petir, Kawat Fasa, Lightning Arrester

Keywords:

Lightning, Phase Wires, Lightning Arrester



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

ABSTRAK

Petir memiliki arus sangat besar dan waktu yang sangat singkat, sehingga dapat menimbulkan kerusakan yang fatal, terutama pada peralatan listrik di udara terbuka. Kawat fasa dan lightning arrester sering kali terganggu bahkan mengalami kerusakan akibat sambaran petir yang terjadi. Penelitian ini bertujuan menghasilkan jumlah gangguan pada peralatan tersebut akibat sambaran petir, menentukan sudut lindung kawat tanah, dan mendapatkan penempatan optimal lightning arrester untuk memberikan perlindungan terhadap saluran udara tegangan menengah. Penghitungan gangguan dilakukan untuk sambaran petir tidak langsung dan langsung, tanpa dan dengan kawat tanah. Metode rolling sphere dengan persamaan Hasse dan Wiesinger digunakan dalam menghitung sudut kawat tanah terhadap sambaran petir langsung dan tidak langsung. Sedangkan metode pengali Lagrange digunakan untuk menghasilkan penempatan optimal lightning arrester. Hasil penghitungan gangguan sambaran petir tidak langsung dan langsung, tanpa dan dengan kawat tanah didapatkan 57,8, 43, 32,5, dan 19,9 gangguan per 100 km per tahun. Faktor perlindungan lightning arrester sebesar 30,61%. Sudut lindung optimal kawat tanah dengan variasi jarak sambar 200 m, 300 m, 400 m didapatkan setiap sudut $\varphi=70,05^\circ$, $\varphi=73,73^\circ$, $\varphi=75,93^\circ$. Sedangkan penempatan lightning arrester didapatkan nilai jarak optimal $S=5,7$ meter. Hasil penelitian ini dapat memberikan perlindungan yang lebih baik pada jaringan SUTM di Penyulung Muaro Paiti.

ABSTRACT

Lightning has a very large current and a very short time so that it can cause fatal damage, especially to electrical equipment in the air. Phase wires and lightning arresters are often disrupted and even damaged due to lightning strikes that occur. This study aims to produce the number of disturbances in the equipment due to lightning strikes, determine the ground wire protection angle, and obtain the optimal placement of lightning arresters to provide protection against 20 kV medium voltage overhead lines. Fault calculations are carried out for indirect and direct lightning strikes, without and with ground wire. The Rolling Sphere method with the Hasse and Wiesinger equations is used to calculate the angle of the ground wire to direct and indirect lightning strikes. While the Lagrange Multiplier method is used to produce the optimal placement of the lightning arrester. The results of the calculation of indirect and direct lightning strikes, without and with ground wire obtained 57.8, 43, 32.5, and 19.9 disturbances per 100 km per year. lightning arrester protection factor is 30.61%. The optimal protection angle of the ground wire with variations in the striking distance of 200 m, 300 m, 400 m is obtained, each angle is $=70,05^\circ$, $=73,73^\circ$, $=75,93^\circ$. While the placement of the lightning arrester, the optimal distance value is $S = 5.7$ meters. The results of this study can provide better protection for the SUTM network in Feeder Muaro Paiti.

1. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi yang andal berperan besar dalam mencukupi kebutuhan penyaluran listrik, sehingga penyaluran tenaga listrik ke konsumen tidak boleh terputus (Marpaung et al., 2020). Adanya kendala pada jaringan distribusi akan mengakibatkan kerugian yang sangat besar bagi konsumen dan PT. PLN (Persero) itu sendiri. Gangguan pada sistem distribusi dalam berasal dari internal sistem ataupun eksternal sistem (Auliq & Pratama, 2021). Gangguan eksternal merupakan gangguan yang berasal dari luar sistem seperti sambaran petir, keadaan alam, sedangkan internal adalah gangguan dari dalam sistem (internal), seperti swiching surges atau surja hubung (Masarrang et al., 2019; Matsuda et al., 2019; Rahmadhani, 2018). Salah satu gangguan sistem distribusi yang paling banyak terjadi yakni adanya gangguan eksternal yang terjadi akibat sambaran petir. Hal ini terjadi karena wilayah Indonesia berada pada garis khatulistiwa dengan curah hujan yang tinggi dan memiliki tingkatan kerapatan petir yang besar serta curah hujan yang tinggi menimbulkan terjadinya banyak gangguan akibat sambaran petir (Oktaviani & Hati, 2019; Putra et al., 2021). Kondisi cuaca yang cenderung panas dan lembab memungkinkan adanya

*Corresponding author.

E-mail addresses: liliana@uin-suska.ac.id (Liliana)

pembentukan awan *cumulonimbus* yang dapat menghasilkan petir (Kurniawan & Made, 2019). Hari guruh tahunan paling tinggi di dunia berkisar 180-260 per tahun dengan kerapatan sambaran petir ke tanah (Ng) menggapai 30 sambaran per km² per tahun (Zoro et al., 2018). Tingginya curah hujan dan banyaknya sambaran petir di berbagai wilayah di Indonesia menyebabkan gangguan pada sistem distribusi dalam menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk pusat beban kepada konsumen (Asna et al., 2022; Kisielewicz et al., 2017). Sangat memungkinkan bahwa saluran distribusi yang berada di sekitar perbukitan atau daerah pegunungan rawan terhadap sambaran petir. Selain daerah pegunungan, bahaya petir juga terjadi di daerah persawahan dan daerah terbuka.

Gangguan sambaran petir banyak berlangsung pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Sambaran petir bisa berbentuk sambaran langsung serta sambaran tidak langsung (Asna et al., 2022; Nugroho & Nugroho, 2022). Sambaran langsung ialah sambaran yang menuju ke konduktor fasa serta tiang (Shariatinasab & Gholinezhad, 2017). Sambaran tidak langsung merupakan kejadian sambaran yang berlangsung di sekitar sistem tenaga (Hajar & Rahman, 2018). Sambaran petir juga dapat menyebabkan terjadinya flashover pada isolator. Kejadian *flashover* berlangsung apabila tegangan terhadap isolator saluran tinggi ataupun sama dengan tegangan kritis lompatan api (critical flashover) menyebabkan lompatan api berlangsung terhadap isolator tersebut (Luntungan et al., 2018; Sigit et al., 2021). Salah satu wilayah Indonesia yang mempunyai tingkat curah hujan yang tinggi serta rawan terhadap sambaran petir adalah provinsi Sumatera Barat. Berdasarkan data BMKG pada peta sambaran petir periode 2020 wilayah Sumatera Barat memiliki 450.000-600.000 jumlah sambaran petir *cloud to ground*. Gangguan yang terjadi pada Penyulang Muaro Paiti memiliki panjang 65 kms sering terjadi disebabkan oleh sambaran petir, pohon tumbang yang mengenai SUTM 20 kV, kerusakan komponen SUTM 20 kV, dan beberapa gangguan yang tidak ditemukan. Pada tahun 2020 dari beberapa gangguan yang ada, gangguan akibat sambaran petir menjadi gangguan yang dominan dengan total 156 gangguan.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut yakni dengan melakukan perlindungan terhadap kawat fasa dengan penempatan kawat tanah. Penempatan kawat tanah akan dapat meminimalisir jaringan SUTM dari gangguan petir sambaran langsung ataupun sambaran tidak langsung (Marlanfar et al., 2020; Nasution, 2019). Jika terjadi sambaran petir pada SUTM, kawat tanah akan menyalurkan arus surja petir ke tanah sehingga SUTM aman terhadap gangguan (Napitupulu et al., 2021; Sigit et al., 2021). Kawat tanah sebaiknya mempunyai tahanan kontak yang kecil tetapi ketahanan impuls isolasinya besar (Manihuruk et al., 2021; Oktaviani & Hati, 2019; Rahmono, 2019). Selain kawat tanah, *lightning arrester* juga dapat yang dapat melindungi peralatan SUTM 20 kV dari sambaran petir. *Lightning arrester* berfungsi melindungi instalasi terhadap gangguan overvoltage yang diakibatkan oleh sambaran petir ataupun oleh surja hubung (Snodgrass & Xie, 2020). *Arrester* bersifat sebagai jalan pintas dekat isolasi yang membentuk jalur, sehingga gampang dilewati arus. Jalan pintas ini mesti diatur dengan baik sehingga tidak mengganggu penyaluran tenaga listrik kepada konsumen (Murdiya et al., 2019).

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengungkapkan bahwa hasil perhitungan dan analisa bahwa nilai faktor perisai kawat tanah di Gardu Induk Boom Baru sudah cukup efektif, karena mampu mengurangi jumlah gangguan petir induksi sebesar 35,50 gangguan per 100 km per tahun (Oktaviani & Hati, 2019). Hasil penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa jarak *lightning arrester* dan transformator di KM 0003 menjadi 0,6 meter membuat arus puncak petir yang mampu diterima dari *lightning arrester* menjadi lebih tinggi yaitu 655,008 kA, dan terjadi peningkatan *kinerja lightning arrester* sebesar 267,36 % akibat perubahan posisi (Asna et al., 2022). Hasil penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa sistem proteksi di GITET (Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi) lebih tepat menggunakan *arrester MOV EXLIM 550 kV*, power transformer (BIL: 1425kV), CVT (BIL: 1550 kV), CT (BIL: 1550 kV), BSI (BIL: 1550 kV), dan CB (BIL: 1550 kV) dengan margin proteksi lebih dari 20% (Adiwibowo, 2019). Berdasarkan beberapa hasil penelitian tersebut dapat dikatakan bahwa kawat tanah dapat mengurangi jumlah gangguan jaringan distribusi akibat sambaran petir, selain itu posisi *arrester* juga dapat memengaruhi sedikit banyaknya sambaran petir pada jaringan distribusi. Hanya saja pada penelitian sebelumnya, belum terdapat kajian mengenai perlindungan kawat fasa dengan optimalisasi sudut lindung kawat tanah dan penempatan *lightning arrester*. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada kajian tersebut dengan tujuan untuk menghasilkan jumlah gangguan pada peralatan tersebut akibat sambaran petir, menentukan sudut lindung kawat tanah, dan mendapatkan penempatan optimal *lightning arrester* untuk memberikan perlindungan terhadap saluran udara tegangan menengah 20 kV di penyulang Muaro Pati Payakumbuh.

2. METODE

Penelitian ini tergolong kedalam penelitian lapangan (*field research*) dengan metode kuantitatif. Penelitian dilaksanakan di SUTM 20 kV pada penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota. Penyulang Muaro Paiti mendapatkan suplai daya listrik dari *Feeder 1* Pangkalan. Data-data yang

diperlukan dalam penelitian ini adalah data SUTM 20 kV Penyulang Muaro Pati meliputi data gangguan, data saluran, spesifikasi tiang, transformator, dan ground steel wire, disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5.

Tabel 1. Data Jumlah Gangguan Penyulang Muaro Paiti 2020

Bulan	Jumlah Gangguan
Januari- Desember	156

Tabel 2. Data saluran penyulang Muaro Paiti

Panjang (m)	Jenis	Penampang (mm ²)	Arus (A)	Impedansi (ohm)
25	A3CS	240	60	0.01344+j 0.3158

Tabel 3. Spesifikasi tiang SUTM 20 kV

Panjang (m)	Tinggi titik tumpu (m)	Diameter (cm)	Beban kerja (daN)
12	2.0	19	500

Tabel 4. Data transformator

Kapasitas (kVA)	Tegangan Primer (kV)	Tegangan Sekunder (kV)
250	20	220/380

Tabel 5. Data spesifikasi kawat tanah

Spesifikasi	Jenis / Nilai
Jenis kawat tanah	BC
Tinggi rata-rata kawat fasa di atas tanah	8.9 meter
Tinggi kawat tanah di atas tanah	10 meter
Jarak vertikal kawat tanah dan kawat fasa	1.1 meter

Pengumpulan data pada penelitian dilakukan dengan proses observasi langsung pada SUTM 20 kV pada penyulang Muaro Paiti PT. PLN (Persero) Rayon Lima Puluh Kota. Adapun analisis data yang digunakan meliputi perhitungan gangguan secara langsung dan tidak langsung, perhitungan sudut lindung kawat tanah menggunakan *metode rolling sphere*, Gangguan Akibat Sambaran Petir Pada Lightning Arrester, serta perhitungan Penempatan *Lightning Arrester* Menggunakan Metode Pengali Lagrange. Pada penghitungan penempatan *Lightning Arrester*, untuk memperoleh proteksi trafo yang optimal, arrester diposisikan pada jarak tertentu (tidak boleh terlalu jauh maupun sangat dekat), pada prakteknya arrester mesti ditempatkan pada jarak tertentu, supaya proteksi dapat berlangsung optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Berdasarkan proses perhitungan sesuai langkah-langkah di metodologi penelitian maka didapatkan 3 temuan utama pada penelitian ini. **Temuan pertama**, berkaitan dengan hasil perhitungan gangguan. Perhitungan gangguan akibat sambaran petir langsung dan tidak langsung, dengan dan tanpa kawat tanah pada SUTM 20 kV dan Lightning Arrester disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pemghitungan Gangguan Sambaran Petir Tidak Langsung Tanpa kKwat Tanah

h (m)	Y (m)	Vi (kV)	P_{I0}	(NFL)	(N_i)
8.9	30	178	0.95	115.75	57.87

Pada tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai tegangan puncak yang disebabkan oleh sambaran petir tidak langsung adalah 178 kV, probabilitas arus gangguan akibat sambaran petir tidak langsung sebesar 0.95, jumlah lompatan api yang diakibatkan oleh sambaran petir tidak langsung adalah 115.75 per 100 km per tahun dan jumlah gangguan kilat yang diakibatkan sambaran petir tidak langsung sebesar 57.87 gangguan per 100 km per tahun. Berdasarkan nilai-nilai yang sudah didapatkan bisa dilihat bahwa besarnya pengaruh gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV. Hal ini tentunya sangat berbahaya bagi kelangsungan jaringan listrik pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti yang dapat mengakibatkan

pemadaman listrik. Dengan tidak digunakannya kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV jumlah gangguan pada SUTM terhadap sambaran petir tidak langsung sangat besar. Analisis selanjutnya dilakukan untuk mengetahui jumlah sambaran petir tidak langsung dengan kawat tanah. Adapun hasil penghitungan disajikan pada [Tabel 7](#).

Tabel 7. Hasil Penghitungan Gangguan Sambaran Petir Tidak Langsung dengan Kawat Tanah

h_t (m)	V_i (kV)	P_{I0}	FP	NFL	N_t
10	143.29	0.62	0.67	87	43

Dari hasil penghitungan jumlah gangguan akibat sambaran tidak langsung pada SUTM 20 kV menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) untuk penyulang Muaro Paiti dengan panjang 65 kms, tinggi tiang JTM dari atas tanah 12 m, maka pengaruh pemasangan kawat tanah memberikan dampak berkurangnya gangguan pada peralatan akibat sambaran petir tidak langsung. Sebelum pemasangan kawat tanah nilai tegangan puncak sebesar 178 kV sementara setelah pemasangan kawat tanah menjadi 143.29 kV, kemudian nilai probabilitas arus gangguan sebelumnya pemasangan kawat tanah adalah 0.95 dan setelah pemasangan kawat tanah menjadi 0.62. Pada pemasangan kawat tanah terhadap gangguan sambaran petir tidak langsung dapat menghitung faktor perisaian yakni didapatkan hasil sebesar 0.67, kemudian nilai jumlah lompatan api sebelum pemasangan kawat tanah adalah 115.75 kali per 100 km per tahun dan setelah pemasangan kawat tanah menjadi 87 kali per 100 km per tahun, jumlah gangguan kilat sebelum pemasangan kawat tanah terhadap sambaran petir tidak langsung adalah 57.87 gangguan per 100 km per tahun dan setelah pemasangan kawat tanah menjadi 43 gangguan per 100 km per tahun. Dari perbandingan nilai gangguan sebelum pemasangan kawat tanah dan sesudah pemasangan kawat tanah dapat dilihat bahwa kawat tanah terbukti mampu meminimalisir gangguan sambaran petir tidak langsung pada SUTM 20 kV. Setelah didapatkan hasil mengenai gangguan sambaran petir tidak langsung, analisis kemudian dilanjutkan pada penghitungan jumlah sambaran petir secara langsung tanpa kawat tanah. Adapun hasil analisis disajikan pada [Tabel 8](#).

Tabel 8. Hasil Perhitungan Gangguan Sambaran Petir Langsung Tanpa Kawat Tanah

h_t (m)	I (kA)	V_p (kV)	P_{FL}	N_L	NFL	N_t
8.9	20	5,000	0.96	67.71	65.0016	32,50

Pada Tabel 8 dapat dilihat bahwa nilai arus kilat yang disebabkan oleh sambaran petir langsung adalah 20 kA, tegangan yang timbul pada kawat akibat sambaran petir langsung sebesar 5000 kV, probabilitas lompatan api yang diakibatkan oleh sambaran petir langsung adalah 0.96, jumlah sambaran yang diakibatkan sambaran petir langsung sebesar 67.71 sambaran per 100 km per tahun, jumlah lompatan api adalah 65.0016 lompatan api per 100 km per tahun, probabilitas peralihan lompatan api menjadi busur api sebesar 32.50 gangguan per 100 km per tahun. Berdasarkan nilai-nilai yang sudah didapatkan bisa dilihat bahwa besarnya pengaruh gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV, hal ini tentunya sangat berbahaya bagi kelangsungan jaringan listrik pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti yang dapat mengakibatkan pemadaman listrik, isolator pecah, dan sambaran langsung petir kepada kawat fasa. Setelah didapatkan hasil penghitungan tanpa kawat tanah, kemudian dilakukan pemasangan kawat tanah yang kemudian dihitung kembali jumlah gangguannya. Hasil analisis jumlah gangguan dengan kawat tanah disajikan pada [Tabel 9](#).

Tabel 9. Hasil Penghitungan Gangguan Sambaran Petir Langsung dengan kawat tanah

h_t (m)	Z_t (ohm)	Z_g (ohm)	V_t (Kv)	I_o (kA)	PFL	N_i	N_t
8.9	1899.07	179.07	85.50	20.13	0.55	20.13	0.55

Dari hasil penghitungan jumlah gangguan akibat sambaran langsung pada SUTM 20 kV menggunakan kawat tanah (*ground steel wire*) untuk penyulang Muaro Paiti dengan panjang 65 kms, tinggi tiang JTM dari atas tanah 12 m maka pengaruh pemasangan kawat tanah memberikan dampak berkurangnya gangguan pada peralatan akibat sambaran petir langsung (Ishimoto et al., 2019). Dengan menggunakan kawat tanah maka pada sambaran petir langsung didapatkan nilai impedansi surja kawat tanah adalah 1899.07 ohm, dengan pemasangan kawat tanah didapat nilai tegangan puncak pada tiang 85.50 kV, kemudian didapatkan nilai besar arus minimum yang mengakibatkan lompatan api sebesar 20.13 kA, probabilitas terjadi lompatan api adalah 0.55, jumlah sambaran kilat pada saluran sebesar 72.36 sambaran per 100 km per tahun, kemudian jumlah gangguan akibat sambaran petir langsung terhadap

kawat tanah adalah 19.9 gangguan per 100 km per tahun. Dari perbandingan nilai gangguan akibat sambaran petir langsung memberikan tegangan gangguan yang signifikan lebih besar dibandingkan sambaran petir tidak langsung. Namun, upaya penambahan kawat tanah juga terbukti mampu meminimalkan dengan signifikan tegangan gangguan sambaran petir langsung pada SUTM 20 kV. Analisis selanjutnya yakni penghitungan faktor perlindungan lightning arrester terhadap gangguan sambaran petir pada transformator distribusi, yang disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Penghitungan Faktor Perlindungan Lightning Arrester terhadap Gangguan Sambaran Petir pada Transformator Distribusi

V_{max} (kV)	V_p (kV)	I_a (kA)	FP
22	22	1.246	30.61 %

Berdasarkan hasil penghitungan Lightning Arrester terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti ditanahkan dengan tahanan rendah, TID didapatkan sebesar 24 kV, koefisien pentanahan dipilih 100% (pentanahan tidak efektif) dengan tegangan sistem tertinggi adalah 20 kV sehingga didapat tegangan maksimum LA adalah 22 kV, tegangan pengenalan LA sebesar 22 kV. Kemudian mendapatkan nilai arus pelepasan impuls LA saat melepas arus surja petir sehingga besar tegangan gelombang datang diperoleh dari Flash Over Voltage (FOV) sebesar 490.57 ohm, untuk impedansi hantaran sebesar 500 ohm maka besar arus pelepasan impuls adalah 1.246 kA. Dengan nilai arus pelepasan impuls tersebut maka termasuk dalam kelompok pemilihan arus 5 kA untuk tegangan pengenalan 24 kV dan arus 10 kA dengan tegangan pengenalan sebesar 87 kV. Hal ini berdasarkan ketetapan dimana sebelumnya dilakukan pengujian tegangan percikan terhadap lightning arrester. Nilai Tingkat tegangan perlindungan (TP) yang didapatkan adalah 95.7 kV serta Faktor Perlindungan LA sebesar 30.61%. **Temuan kedua** pada penelitian berkaitan dengan sudut lindung optimal kawat tanah (*ground steel wire*). Hasil perhitungan Sudut lindung optimala kawat tanah disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Penghitungan Sudut Lindung Optimal Kawat Tanah (*Ground Steel Wire*)

Jarak Sambar (m)	Sudut Lindung (°)
200	70.05
300	73.73
400	75.93

Memvariasikan jarak sambaran petir terhadap jaringan dilakukan dengan tujuan agar dapat melihat nilai sudut lindung yang optimal berdasarkan kebiasaan jarak sambar petir pada penyulang Muaro Paiti. Sehingga dengan jarak sambaran petir 200 m pada SUTM 20 kV berdasarkan perhitungan menggunakan metode Rolling Sphere dengan persamaan Hasse dan Wesienger didapat sudut lindung yang optimum kawat tanah dalam melindungi peralatan yaitu sebesar 70.05°. Jarak sambaran petir 300 m, didapat sudut lindung sebesar 73.73°. Kemudian jarak sambaran petir 400 m didapat sudut lindung sebesar 75.93°. Dalam hal ini tiap-tiap sudut lindung yang didapat dengan variasi jarak sambar 200 m, 300 m dan 400 m sudah sangat maksimal dan optimal dikarenakan nilai standar sudut perlindungan adalah berkisar [25] ° sampai [55] °. **Temuan ketiga**, pada penelitian ini berkaitan dengan penempatan lightning arrester menggunakan metode pengali *lagrange*. Untuk menghitung penempatan optimum lightning arrester dapat menggunakan metode Pengali Lagrange. Dalam memperoleh proteksi trafo yang optimal, lightning arrester diposisikan pada jarak tertentu. Terminal transformator (E_P) (BIL trafo) yaitu 125 kV, kemudian tegangan percik arrester (E_a) untuk kelas 5 kA yaitu 87 kV, kecuraman muka gelombang tegangan impuls (A) yang digunakan oleh pihak penyulang Muaro Paiti adalah 1000 kV/μs, kemudian kecepatan merambat gelombang (v) yang digunakan adalah 300 m/μs.

Penentuan jarak penempatan lightning arrester dengan transformator yang didapatkan berdasarkan perhitungan metode Pengali Lagrange yaitu S=5.7 meter, sedangkan jarak S yang terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti adalah S=3 meter, dengan demikian berdasarkan metode Pengali Lagrange jarak penempatan arrester terpasang pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti berada di bawah batas optimum yang diperkenankan. Hal ini berarti tingkat perlindungan arrester pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti dilihat dari perhitungan dengan metode pengali lagrange kurang optimal, sebab S terpasang < S hitung.

Pembahasan

Hasil temuan pertama pada penelitian ini menunjukkan bahwa jumlah gangguan akibat sambaran petir tidak langsung tanpa kawat tanah lebih banyak dibandingkan saat sudah dipasang kawat tanah. Hal

ini juga sejalan dengan hasil jumlah gangguan secara langsung dengan kawat tanah dan tanpa kawat tanah. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa dengan tidak digunakannya kawat tanah (*ground steel wire*) pada SUTM 20 kV jumlah gangguan pada SUTM terhadap sambaran petir langsung dan tidak langsung sangat besar (Furqon et al., 2013; Matsuda et al., 2019; Murdiya et al., 2019). Pada dasarnya kawat tanah merupakan saluran yang dilewati arus gangguan. Kawat tanah yang memiliki hambatan dapat meminimalisir arus yang melewatinya, hal ini disebabkan karena kawat tanah akan mengalirkan arus surja petir ke tanah sehingga jaringan tegangan menengah bebas dari gangguan (Napitupulu et al., 2021; Sigit et al., 2021). Kawat tanah hendaknya memiliki tahanan kontak yang rendah namun ketahanan impuls isolasinya tinggi (Rahmono, 2019). Kawat tanah ideal adalah kawat tanah yang mempunyai potensial sepanjang kawat sama dengan nol (Ikbal, 2018). Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan titik pentanahan di sepanjang kawat tanah. Akan tetapi kondisi ini tidak ekonomis diterapkan, sehingga pentanahan kawat tanah ditempatkan pada titik-titik tertentu saja (Oktaviani & Hati, 2019).

Temuan kedua pada penelitian ini menunjukkan bahwa penentuan sudut lindung harus didasarkan pada jarak sambaran petir. Daerah lindung menyatakan sudut yang dilindungi akibat tower yang terkena sambaran langsung petir (Luntungan et al., 2018). Dimana jika jarak sambar 200 m, maka sudut lindungnya adalah 70,05°. Jika jarak sambar 300 m, maka sudut lindungnya adalah 73,73°, dan jika jarak sambarnya 400 m, maka sudut lindungnya adalah 75,93°. Tiap-tiap sudut lindung dengan variasi jarak sambar 200 m, 300 m dan 400 m sudah sangat maksimal dan optimal dikarenakan nilai standar sudut perlindungan adalah berkisar [25] ° sampai [55] °. Daerah lindung dan grounding pada tower transmisi memiliki peran penting, untuk mencegah terjadinya *back flashover* (Santjiatodjaja et al., 2019). *Back flashover* akan terjadi jika sambaran petir yang menyambar kawat perisai yang berada dibagian atas tower transmisi, tegangan yang besar itu mengalir ke bawah menara melalui kawat tanah ke grounding (Rahmono, 2019; Sigit et al., 2021). Apabila grounding melebihi batas nilai standar yang di tetapkan maka flashover akan muncul, peristiwa ini disebut *back flashover* (Luntungan et al., 2018).

Temuan ketiga pada penelitian menunjukkan bahwa tingkat perlindungan arrester pada SUTM 20 kV penyulang Muaro Paiti dilihat dari perhitungan dengan metode Pengali Lagrange kurang optimal, sebab S terpasang < S hitung. Hasil yang diperoleh pada penelitian sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mengungkapkan bahwa hasil perhitungan dan analisa bahwa nilai faktor perisai kawat tanah di Gardu Induk Boom Baru sudah cukup efektif, karena mampu mengurangi jumlah gangguan petir induksi sebesar 35,50 gangguan per 100 km per tahun (Oktaviani & Hati, 2019). Hasil penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa jarak lightning arrester dan transformator di KM 0003 menjadi 0,6 meter membuat arus puncak petir yang mampu diterima dari lightning arrester menjadi lebih tinggi yaitu 655,008 kA, dan terjadi peningkatan kinerja lightning arrester sebesar 267,36 % akibat perubahan posisi (Asna et al., 2022). Hasil penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa sistem proteksi di GITET (Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi) lebih tepat menggunakan arrester MOV EXLIM 550 kV, power transformer (BIL: 1425kV), CVT (BIL: 1550 kV), CT (BIL: 1550 kV), BSI (BIL: 1550 kV), dan CB (BIL: 1550 kV) dengan margin proteksi lebih dari 20% (Adiwibowo, 2019).

4. SIMPULAN

Simpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini yakni pemasangan kawat tanah terbukti mampu meminimalkan dampak gangguan sambaran petir dibandingkan sebelum pemasangan kawat tanah baik untuk sambaran petir tidak langsung maupun langsung. Hasil lainnya juga menunjukkan bahwa tingkat dan faktor perlindungan yang sesuai terhadap lightning arrester. Metode rolling sphere dengan persamaan Hasse dan Wiesinger telah menghasilkan sudut kawat tanah yang tepat berdasarkan variasi jarak terhadap sambaran petir langsung dan tidak langsung. Sedangkan metode pengali Lagrange menghasilkan nilai jarak optimal penempatan optimal lightning arrester. Ketiga variabel penelitian yang telah dihasilkan diharapkan dapat memberikan perlindungan terhadap transformator terhadap bahaya sambaran petir.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Adiwibowo, T. S. (2019). Perancangan Proteksi Petir SUTET dengan Konsep Lightning Performance dan Kinerja Arrester. *Energi & Kelistrikan*, 11(2), 98–107. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i2.769>.
- Asna, I. M., Suriana, I. W., Sugarayasa, I. W., Sutarna, W., Dikse Pancane, I. W., Adrama, I. N. G., & Sariana, I. M. (2022). Analisis Konstruksi Posisi Lightning Arrester di Gardu Distribusi Km 0003 Penyulang Subagan Wilayah Kerja PT PLN (Persero) ULP Karangasem. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil Dan Teknik Informasi*, 4(1), 46–55. <https://doi.org/10.38043/telsinas.v4i1.2143>.
- Auliq, M. A., & Pratama, I. B. (2021). Analisa Penentuan Estimasi Jarak Gangguan pada Sistem Distribusi

- Menggunakan Metode ETAP 12.6.0. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputasi*, 3(1). <https://doi.org/10.32528/elkom.v3i1.4353>.
- Furqon, Z., Sugiono, & Minto, B. (2013). Analisis Pengaruh Pemasangan Grounding Kabel Tanah 20 Kv Di Gardu Hubung Sarangan PLN Rayon Malang Kota untuk Menurunkan Gangguan Penyulang Menggunakan E-Tap 12.6. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/jte/article/view/1650>.
- Hajar, I., & Rahman, E. (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>.
- Ikkbal, M. (2018). Tegangan Pemulihan Pada Kontak Pemutus Daya Tegangan Tinggi untuk Proteksi Terhadap Gelombang Berjalan. *Jurnal Qua Teknika*, 8(1), 11–21. <https://doi.org/10.35457/quateknika.v8i1.341>.
- Kisielewicz, T., Piparo, G. B. Lo, & Mazzetti, C. (2017). Overall Performance of A Surge Protection Device System in Protecting Equipment Against Lightning Surges. *International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977651>.
- Kurniawan, R., & Made, P. (2019). Analisis Cuaca Ekstrem Terkait Bencana Hidrometeorologi di Jayapura (Studi Kasus Hujan Lebat Tanggal 22 Februari 2014). *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 5(3), 25–36. <https://doi.org/10.36754/jmkg.v5i3.72>.
- Luntungan, R. P., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2018). Analisis Daerah Lindung dan Grounding Ppda Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3), 199–206. <https://doi.org/10.35793/jtek.7.3.2018.20766>.
- Manihuruk, J., Simorangkir, T., & Sitanggang, N. L. (2021). Studi Kemampuan Arrester untuk Pengaman Transformator pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV. *Journal Electric Power, Telecommunications & Control System*, 4(1). <https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/download/52821/31279>.
- Marlanfar, Yusmartato, & Pelawi, Z. (2020). Analisis Penempatan Lightning Arestrester pada Gardu Induk Tanjung Morawa. *Buletin Utama Teknik*, 15(3), 229–233. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/2837>.
- Marpaung, C. O. P., Siahaan, U., & Sudarwani, M. M. (2020). Perancangan Sistem Microgrid untuk Mempercepat Akses Terhadap Energi Listrik (Energy Access) pada Kawasan Wisata Setu Rawalumbu Kota Bekasi. *Jurnal Terkait Kegiatan Pengabdian Kepada Masyarakat, Terkhusus Bidang Teknologi, Kewirausahaan Dan Sosial Kemasyarakatan*, 2(1), 352–378. <https://doi.org/10.33541/cs.v2i1.1659>.
- Masarrang, R., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2019). Efek Korona pada Saluran Transmisi Gardu Induk Tello Sulawesi Selatan. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(2). <https://doi.org/10.35793/jtek.8.2.2019.23980>.
- Matsuda, Y., Michishita, K., Yokoyama, S., & Sato, T. (2019). Analysis of Surge Arrester Damage Accident on Distribution Line Due to Winter Lightning. *2019 11th Asia-Pacific International Conference on Lightning (APL)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/APL.2019.8816054>.
- Murdiya, F., Febrizal, F., Stevany, C., Sano, H. A., & Firdaus, F. (2019). The Effect of Lightning Impulse Characteristics and Line Arrester to The Lightning Protection Performance on 150 kV Overhead Lines: ATP-EMTP Computational Approach. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 10(2), 49–59. <https://doi.org/10.14203/j.mev.2019.v10.49-59>.
- Napitupulu, J., Safarudin, I., Hernandez, A., & Hutapea, G. (2021). Studi Kegagalan Perlindungan Kawat Tanah terhadap Sambaran Petir pada Saluran Transmisi 150 KV. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(1), 60–67. <http://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/teknologienergi/article/view/1356>.
- Nasution, R. (2019). Analisa Penempatan Lightning Arrester sebagai Pengaman Gangguan Petir di Gardu Induk Langsa. *Buletin Utama Teknik*, 14(3), 205–209. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/1274>.
- Nugroho, E., & Nugroho, S. A. (2022). Perancangan Sistem Proteksi pada Peralatan Elektromedis terhadap Sambaran Petir Tidak Langsung. *Jurnal Informatika, Sains, Dan Teknologi*, 1(1), 23–30. <https://journals.itspku.ac.id/index.php/ifst/article/view/119/45>.
- Oktaviani, W. A., & Hati, I. P. (2019). Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang. *PROtek: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 6(2), 85–89. <https://doi.org/10.33387/protk.v6i2.1234>.
- Putra, K. D. D., Arjana, G. D., & Rinas, W. (2021). Studi Pengaruh Pemasangan Spike untuk Melindungi Saluran Distribusi Tegangan Menengah pada Penyulang Buduk. *Jurnal Spektrum*, 8(1), 222–229. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/download/71675/38963>.
- Rahmadhani, S. N. (2018). Evaluasi Efektivitas Pengendalian Internal pada Jaringan Distribusi di Sistem 20

- kV (kilo Volt) Studi Kasus: PT PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Program Studi Akuntansi*, 4(2), 24. <https://doi.org/10.31289/jab.v4i2.1816>.
- Rahmono, B. C. (2019). Studi Perhitungan Tegangan Back Flashover di Terminal Isolator pada Sutet 275 kV Bengkayang-Mambong Akibat Sambaran Petir Langsung. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1). <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/32006>.
- Santjiatodjaja, C. A., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2019). Analisa Gelombang Berjalan pada Saluran Transmisi 70 KV Gardu Induk Teling. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 8(1). <https://doi.org/10.35793/jtek.8.1.2019.23646>.
- Shariatinasab, R., & Gholinezhad, J. (2017). The Effect of Grounding System Modeling on Lightning-Related Studies of Transmission Lines. *Journal of Applied Research and Technology*, 15(6), 545–554. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2017.06.003>.
- Sigit, S. W., Duanaputri, R., Wibowo, S. S., Dali, S. W., & Prasetyo, A. (2021). Evaluasi Pentanahan terhadap Sambaran Petir pada SUTT 70 kV Menggunakan Electro Magnetic Transient Program (EMTP). *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 8(3), 41–46. <https://doi.org/10.33795/elposys.v8i3.75>.
- Snodgrass, J., & Xie, L. (2020). Overvoltage Analysis and Protection of Lightning Arresters in Distribution Systems with Distributed Generation. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 123(1), 106209. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106209>.
- Zoro, R., Widodo, K. E., & Laksmiwati, H. (2018). External Lightning Protection System at Pulp and Paper Industry in Areas with High Lightning Density. *2018 Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICPERE.2018.8739688>.