

Analisis Kinerja *Lightning Arrester* Akibat Sambaran Petir Sebagai Proteksi Transformator Di PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan

Dicky Satya Prawira^{*1}, Tri Wrahatnolo², Joko³, Tri Rijanto⁴
^{1,2,3,4} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

^{*})Corresponding author, email: dicky.19066@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Pada jaringan distribusi tenaga listrik sering mengalami gangguan yang dapat menyebabkan kerugian, salah satu penyebab gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi tenaga listrik adalah sambaran petir yang mengakibatkan tegangan lebih dan dapat merusak peralatan jaringan distribusi, seperti yang terjadi pada Penyulang Glagah PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan. Komponen yang digunakan pada saluran udara sebagai proteksi transformator dari tegangan lebih akibat sambaran petir adalah *lightning arrester*. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan mengumpulkan data pengukuran peralatan serta data gangguan. *Software ATP Draw* digunakan sebagai aplikasi simulasi sambaran petir. Kinerja *lightning arrester* dapat dilihat melalui simulasi sambaran petir yaitu pada *section 7* dengan besar arus sambaran 10 kA dan waktu sambaran 0,5 ms yang menyebabkan tegangan lebih hingga 742,47 kV pada fasa R, 702,16 kV pada fasa S, dan 682,18 kV pada fasa T, dengan pemotongan oleh *arrester* pada waktu yang sama, tegangan menjadi sebesar 20,12 kV pada fasa R, 19,65 kV pada fasa S, dan 4,62 kV pada fasa T. Pada *section 6* dengan besar arus sambaran 40 kA dan waktu sambaran 0,6 ms menyebabkan tegangan lebih hingga 2768,20 kV pada fasa R, 2566,60 kV pada fasa S, dan 2546,60 kV pada fasa T, dengan pemotongan oleh *arrester* pada waktu yang sama, tegangan menjadi sebesar 21,29 kV pada fasa R, 19,09 kV pada fasa S, dan 4,87 kV pada fasa T. Sebagai pencegahan gangguan akibat sambaran petir pada jaringan distribusi tenaga listrik, maka *lightning arrester* yang terpasang harus dalam kondisi baik tanpa kerusakan.

Abstract

In the electric power distribution network, disturbances are often experienced which can cause losses, one of the causes of disturbances that occur in the electric power distribution network is lightning strikes which cause overvoltage and can damage distribution network equipment, as happened in the Feeder Glagah PT. PLN (Persero) Lamongan Distribution. The components used in overhead lines as transformer protection from overvoltage due to lightning strikes are lightning arresters. In this study, the method used is a quantitative method by collecting equipment measurement data and disturbance data. ATP Draw software is used as a lightning strike simulation application. The performance of the lightning arrester can be seen through a lightning strike simulation, namely in section 7 with a large asus strike of 10 kA and a strike time of 0.5 ms which causes an overvoltage of up to 742.47 kV in the R phase, 702.16 kV in the S phase, and 682, 18 kV on the T phase, by cutting by the arrester at the same time, the voltage becomes 20.12 kV on the R phase, 19.65 kV on the S phase, and 4.62 kV on the T phase. In section 6 with the magnitude of the strike current 40 kA and a strike time of 0.6 ms causes an overvoltage of up to 2768.20 kV on the R phase, 2566.60 kV on the S phase, and 2546.60 kV on the T phase, by cutting by the arrester at the same time, the voltage becomes 21.29 kV on the R phase, 19.09 kV on the S phase, and 4.87 kV on the T phase. As a prevention of disturbances due to lightning strikes in the power distribution network, the installed lightning arrester must be in good condition without damage.

INFO.

Info. Artikel:

No. 454

Received. August, 3, 2023

Revised. August, 15, 2023

Accepted. August, 18, 2023

Page. 771 – 780

Kata kunci:

- ✓ *Lightning Arrester*
- ✓ *Transformtor*
- ✓ *Sambaran Petir*
- ✓ *Jaringan Distribusi*
- ✓ *Gangguan*

PENDAHULUAN

Gangguan yang terjadi pada penyaluran tenaga listrik jaringan distribusi dapat menyebabkan kerugian sampai dengan tidak dapat menyalurkan energi listrik yang semestinya. Oleh sebab itu, prediksi dan lokasi kesalahan yang akurat dan cepat di jaringan distribusi sangat penting untuk meningkatkan keandalan, penyaluran energi listrik yang optimal, dan kepuasan pelanggan dengan pelayanan energi listrik oleh PT. PLN (Persero) terutama di daerah yang jauh dari pembangkit atau pusat pelayanan penyaluran energi listrik[1]-[2]. Salah satu gangguan sistem yang umum dan berdampak negatif pada peralatan distribusi energi listrik adalah tegangan lebih. Pada saat terjadi tegangan lebih, operasi sistem mungkin terancam yang dapat menyebabkan kerugian seperti pemadaman yang menyebabkan ketidakpuasan pelanggan atau pengguna energi listrik kepada PT. PLN (Persero) selaku penyedia energi listrik di Indonesia [3].

Kinerja dari *Lightning Arrester* yang digunakan dalam sistem distribusi untuk mengatasi masalah tegangan berlebih dan mengurangi potensi kerusakan peralatan pada jaringan listrik yaitu pada saat keadaan normal *arrester* tersebut menjadi isolator yang tidak dilalui arus listrik, tetapi jika terdapat gangguan tegangan berlebih yang dapat diakibatkan oleh sambaran petir maka *arrester* berfungsi sebagai konduktor untuk mengalirkan arus dan tegangan lebih tersebut ke tanah. *Arrester* menjadi isolator kembali apabila gangguan tegangan lebih sudah hilang atau kembali ke tegangan normal [4]-[5].

Tegangan lebih yang disebabkan oleh petir tidak langsung pada saluran udara dapat menyebabkan kerusakan baik sistem tenaga atau kontrol elektronik dan sistem manajemen[6]-[7]. Selain itu, karena lebih sering terjadi, petir tidak langsung merupakan penyebab gangguan mikro yang lebih penting daripada sambaran langsung. *Arrester* yang terpasang pada jaringan distribusi penyalur Glagah banyak terjadi kerusakan sehingga tidak dapat mengalirkan arus dan tegangan lebih yang disebabkan oleh petir ke tanah dengan baik[1].

Sambaran petir adalah salah satu penyebab utama *trip-out* sistem tenaga. Ketika saluran udara yang terhubung terkena sambaran petir, arus besar merambat ke gardu induk atau ke transformator seperti yang terjadi pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Lamongan Penyalur Glagah yang mengakibatkan masalah pada transformator hingga mengalami kerusakan. Sambaran petir didefinisikan sebagai transfer muatan listrik dari satu awan ke awan lain atau dari awan ke bumi. Intensitas tinggi dari medan listrik yang dihasilkan dapat menyebabkan gangguan udara dan terjadi fenomena petir. Salah satu masalah utama yang dihadapi jaringan listrik adalah tegangan lebih yang disebabkan oleh petir[8]-[9]. Terdapat dua kategori utama sambaran petir yaitu langsung dan tidak langsung. Tegangan lebih yang dihasilkan dari sambaran tidak langsung lebih rendah daripada sambaran langsung, yang lebih besar parah dan menyebabkan kerusakan yang lebih serius untuk isolator. Ketika salah satu komponen seperti konduktor fasa atau kawat pelindung tersambar petir, menghasilkan tegangan induksi yang besar sehingga menyebabkan *flashover* isolator dan *trip-out* yang dapat mempengaruhi penyaluran energi listrik pada jaringan listrik[10].

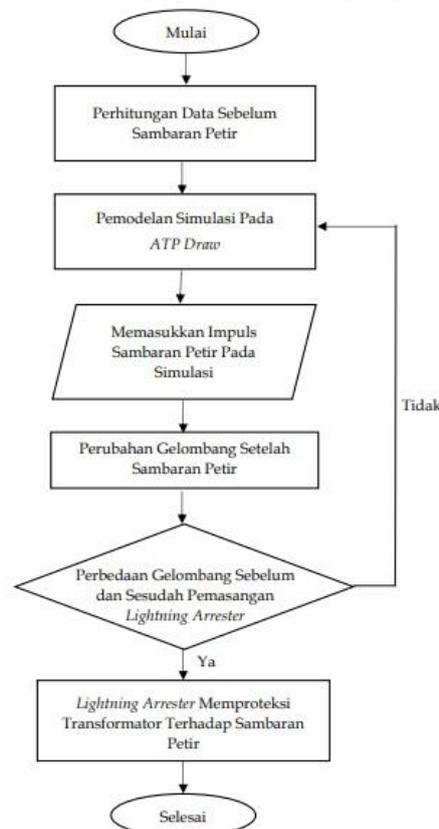
Sambaran petir menyebabkan bahaya yang signifikan pada jaringan tenaga listrik di mana petir dapat menyebabkan kesalahan dan kerusakan besar. Sambaran petir dapat mengakibatkan gangguan dan pemadaman layanan sistem tenaga[11]. Banyak kasus atau permasalahan yang sudah terkonfirmasi bahwa tegangan lebih petir adalah salah satu penyebab utama gangguan pada jaringan distribusi dan transmisi. Sangat diperlukan untuk melindungi jaringan listrik terhadap sambaran petir untuk mengurangi pemadaman sistem[12]. Sebagai pencegahan terhadap gangguan yang disebabkan oleh petir, maka beberapa sistem proteksi petir seperti *arrester*, kabel pelindung, yang diterapkan pada peralatan. *Arrester* merupakan sistem proteksi tegangan lebih yang paling banyak diterapkan terhadap gangguan sambaran petir. Namun, tegangan lebih petir seperti itu dapat menekankan *arrester* di atas tingkat ketahanan yang menyebabkan kegagalan *arrester*. Kilatan petir langsung kepada sistem akan menghasilkan tegangan lebih yang tinggi dan dianggap sebagai sumber potensi kerusakan *arrester*[13].

Gangguan pada transformator didominasi oleh kasus hubung singkat dengan presentase 70-80% pada belitan dan sistem proteksi telah digunakan secara universal sebagai proteksi terhadap gangguan. Selain hal tersebut, gangguan dapat terjadi karena tegangan lebih yang disebabkan oleh petir[14]. Pada penyalur Glagah, gangguan yang disebabkan oleh petir sering terjadi, dengan data

gangguan disebabkan oleh petir mencapai 24% dari total jumlah gangguan pada tahun 2022. Pada jaringan penyaluran energi listrik yaitu jaringan transmisi atau distribusi, transformator daya dikenal sebagai salah satu komponen terpenting dari sistem tenaga[15]. Kinerja efektif jaringan listrik tergantung pada kinerja transformator yang stabil. Oleh karena itu, perlindungan transformator daya yang cepat dan andal merupakan masalah penting dan harus dipertimbangkan dalam pengoperasian sistem tenaga[16].

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini yang membahas mengenai *Lightning Arrester*, metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan mengumpulkan data pengukuran peralatan serta data gangguan yang terjadi pada penyaluran listrik di jaringan distribusi, terutama gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir yang dapat merusak peralatan. Sambaran petir yang merusak peralatan dapat menyebabkan gangguan hingga pemadaman yang merugikan penyedia energi listrik yaitu PT. PLN (Persero) serta konsumen yang memanfaatkan energi listrik sebagai pendukung kegiatan. Data yang didapat dari PT. PLN (Persero) digunakan sebagai perhitungan untuk dianalisis dan dilakukan simulasi pada *software ATP Draw*. *Flowchart* penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Flowchart* penelitian

Tahapan penelitian seperti pada Gambar 1 sebagai berikut:

1. Perhitungan Data
Mengumpulkan data dan melakukan perhitungan untuk parameter pada simulasi seperti data transformator dan data *Lightning Arrester* sesuai dengan data di PT. PLN (Persero) Distribusi Lamongan sebelum terjadi sambaran petir.
2. Pemodelan Simulasi Pada *Software ATP Draw*
Pembuatan rangkaian simulasi pada *software ATP Draw* sesuai dengan data dan perhitungan parameter yang telah dilakukan untuk dimasukkan kedalam parameter komponen yang terdapat pada rangkaian.

3. Memasukkan Impuls Sambaran Petir
Pada rangkaian yang sudah dibuat, dengan memasukkan impuls sambaran petir untuk simulasi terjadi sambaran petir pada jaringan.
4. Melakukan Analisis Gelombang dari Simulasi
Menganalisis gelombang hasil simulasi, sebelum pemasangan dan sesudah pemasangan terdapat perbedaan gelombang, apabila gelombang sama maka dapat melakukan tahap 2 dan penyesuaian parameter.
5. *Lightning Arrester* sebagai Proteksi
Lightning Arrester bekerja dengan baik sebagai proteksi transformator terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir

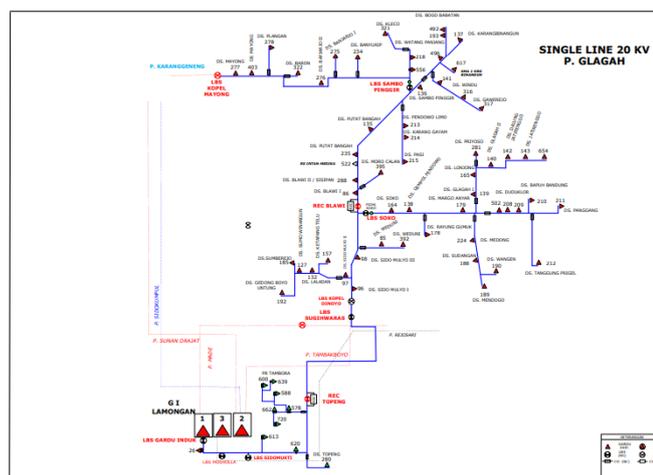
HASIL DAN PEMBAHASAN

Lightning arrester peralatan yang biasa digunakan untuk memproteksi gangguan akibat sambaran petir di sebut *Lightning Arrester*. Alat ini biasanya dipasang pada gardu-gardu induk dan juga di jaringan-jaringan transmisi. *Lightning Arrester* berfungsi sebagai mengamankan jaringan kelistrikan dan data dari bahaya sengatan petir tanpa harus memutus jaringan sesaatpun . Disaat ada tegangan petir yang masuk ke sebuah jaringan kabel *Surge Arrester* Petir akan membuang tegangan lebih akibat petir ke saluran pembuangan / *grounding*.

Lightning Arrester adalah alat pelindung yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik dari tegangan lebih yang disebabkan oleh petir (*Lightning Surge*) atau surja hubung (*Switching Surge*). *Lightning Arrester* harus berada didepan transformator dan harus terletak sedekat mungkin dengan trafo.

Saluran Udara Tegangan Menengah ULP Lamongan Penyulang Glagah

Penyulang Glagah bersumber dari transformator 1 yang berkapasitas 60 MVA. Penyaluran listrik pada penyulang Glagah meliputi 66 transformator distribusi, 2 *recloser*, 6 *load break switch*, dan 19 *fuse cut out*. *Arrester* yang terpasang pada penyulang Glagah berjumlah 87. Penyulang Glagah menyalurkan listrik ke beberapa daerah yaitu Sidomukti, Topeng, Sugihwaras, Dinoyo, Soko, Blawi, Sambo Pinggir, dan Mayong. *Single line diagram* penyulang Glagah terdapat di Gambar 2.

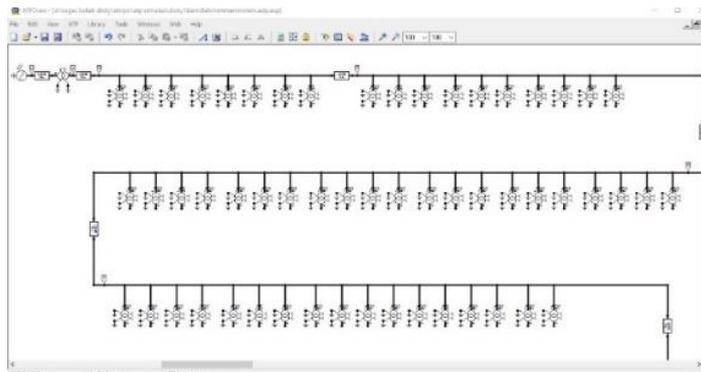


Gambar 2. *Single line diagram* penyulang Glagah

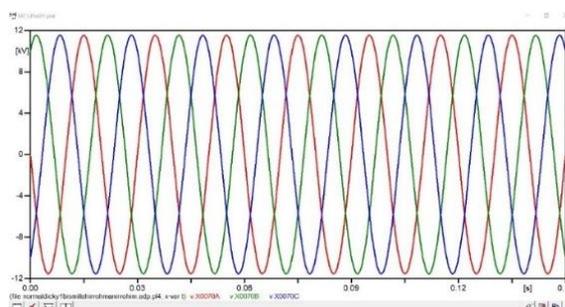
Pada *ATP Draw*, penyulang Glagah disimulasikan seperti pada Gambar 3.

Simulasi Pada *ATP Draw* Saat Keadaan Normal

Kutipan Tegangan pada saat keadaan normal semua *probe* yang terpasang pada *section 2*, *section 4*, *section 5*, *section 6*, dan *section 7* dapat dilihat pada Gambar 4 dan nilai tegangan terdapat pada Tabel 1.



Gambar 3. Single line diagram pada ATP Draw



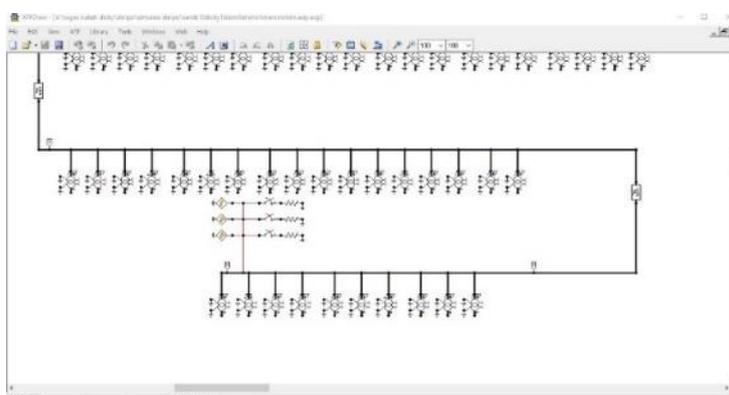
Gambar 4. Tegangan Normal

Tabel 1. Tegangan Normal

Section	Tegangan Perfasa (kV)		
	R	S	T
Section 2	11,54	11,54	11,54
Section 4	11,53	11,54	11,54
Section 5	11,53	11,54	11,54
Section 6	11,53	11,54	11,54
Section 7	11,53	11,54	11,54

Simulasi ATP Draw Sambaran Petir Pada Section 7

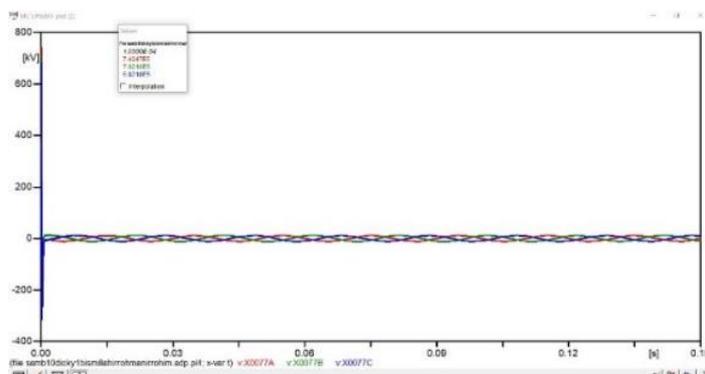
Sambaran petir disimulasikan pada section 7 di fasa R dengan besar arus sambaran 10 kA dan waktu sambaran 0,5 ms menggunakan software ATP Draw seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Sambaran section 7

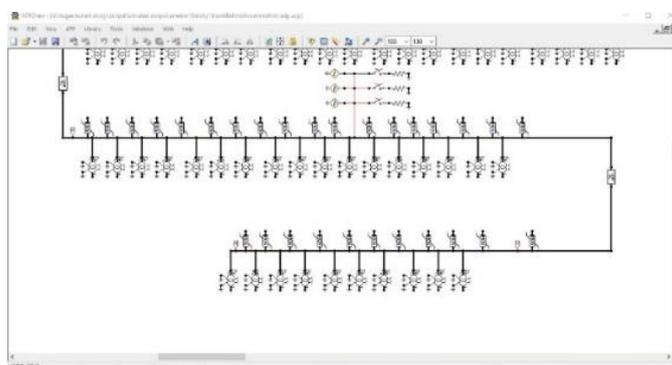
Pada section 7, tegangan sambaran petir yang ditunjukkan probe adalah fasa R sebesar 742,47 kV, fasa S sebesar 702,16 kV, dan fasa T sebesar 682,18 kV dari tegangan normalnya pada fasa R

sebesar 11,53 kV, fasa S sebesar 11,54 kV, dan fasa T sebesar 11,54 kV. Gambar 11 merupakan tampilan probe sambaran pada section 7.



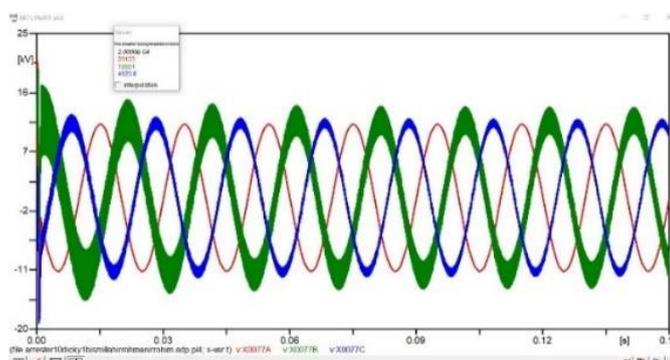
Gambar 6. Probe sambaran section 7

Single line diagram setelah dipasang Arrester pada ATP Draw terdapat pada Gambar 6.



Gambar 7. Single line diagram setelah arrester terpasang

Setelah pemasangan *arrester* pada simulasi *ATP Draw* yang ditunjukkan *probe* di Gambar 7, tegangan sambaran pada *section 7* pada waktu yang sama di fasa R sebesar 20,12 kV, fasa S sebesar 19,65 kV dan fasa S 4,62 kV yang besar tegangan saat sambaran pada fasa R sebesar 742,47 kV, fasa S sebesar 702,16 kV, dan fasa T sebesar 682,18 kV.



Gambar 8. Probe sambaran section 7 setelah arrester terpasang

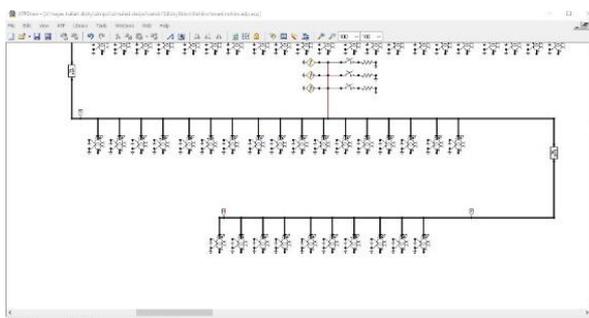
Simulasi yang dilakukan pada *ATP Draw* dapat diketahui bagaimana kinerja dari *lightning arrester* yang dapat menurunkan tegangan lebih yang dihasilkan oleh sambaran petir sehingga tegangan lebih tersebut tidak masuk ke transformator dan memproteksi transformator supaya tidak mengalami kerusakan. Dengan *probe* terpasang di beberapa *section* pada simulasi, Tabel 2 merupakan perbandingan tegangan normal, tegangan saat sambaran, dan saat *arrester* terpasang untuk sambaran pada *section 7*.

Tabel 2. Perbandingan Tegangan Sambaran Section 7

Section	Fasa	Tegangan (kV)		
		Normal	Tersambar Petir	Terpasang Arrester
Section 2	R	11,54	83,65	2,64
	S	11,54	57,62	9,82
	T	11,54	37,63	-8,60
Section 4	R	11,53	257,46	7,32
	S	11,54	227,61	12,45
	T	11,54	207,63	-5,05
Section 5	R	11,53	475,70	14,14
	S	11,54	441,08	13,99
	T	11,54	421,10	-1,100
Section 6	R	11,53	631,30	13,71
	S	11,54	593,33	18,11
	T	11,54	573,35	1,79
Section 7	R	11,53	742,47	20,12
	S	11,54	702,16	19,65
	T	11,54	682,18	4,62

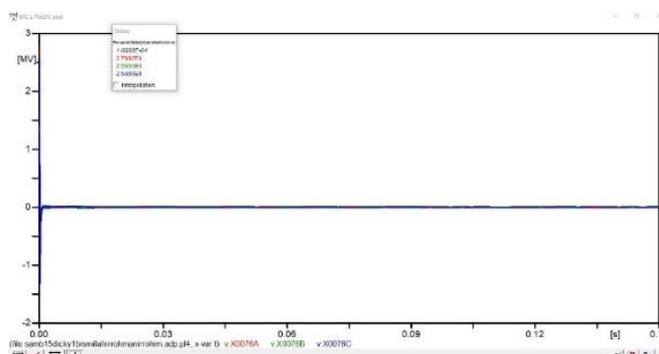
Simulasi ATP Draw Sambaran Petir Pada Section 6

Sambaran petir disimulasikan pada section 7 di fasa R dengan besar arus sambaran 40 kA dan waktu sambaran 0,6 ms menggunakan software ATP Draw seperti Gambar 8.



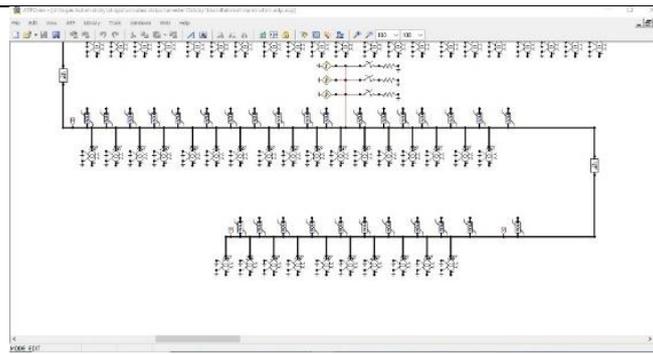
Gambar 9. Sambaran section 6

Tegangan sambaran petir yang ditunjukkan dari probe section 6 saat sambaran petir terjadi di section 6 adalah tegangan fasa R menjadi sebesar 2768,20 kV, fasa S sebesar 2566,60 kV, dan fasa T sebesar 2546,60 kV dari keadaan normalnya pada fasa R sebesar 11,53 kV, fasa S sebesar 11,54 kV, dan fasa T sebesar 11,54 kV. Gambar 9 merupakan tampilan probe sambaran pada section 6.



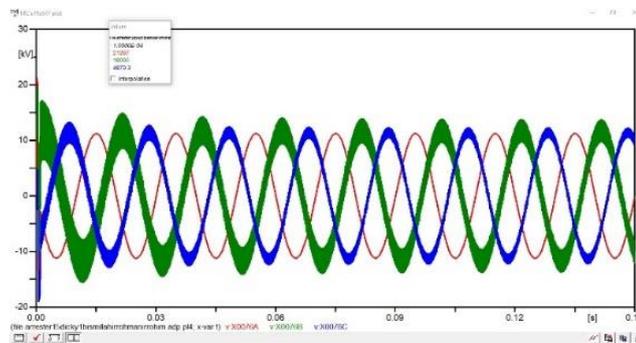
Gambar 10. Probe sambaran section 6

Single line diagram setelah dipasang Arrester pada ATP Draw terdapat pada Gambar 10.



Gambar 11. Single line diagram setelah arrester terpasang

Pada section 6 setelah dipasang arrester, tegangan yang ditunjukkan pada waktu yang sama adalah fasa R sebesar 21,29 kV, fasa S sebesar 19,09 kV, dan fasa T sebesar 4,87 kV yang pada saat sambaran terjadi nilai tegangan pada fasa R sebesar 2768,20 kV, fasa S sebesar 2566,60 kV, dan fasa T sebesar 2546,60 kV. Gambar 11 adalah probe sambaran section 6 setelah arrester terpasang.



Gambar 12. Probe Sambaran Section 6 Setelah Arrester Terpasang

Kinerja dari lightning arrester dapat diketahui setelah melakukan simulasi pada ATP Draw yaitu arrester dapat menurunkan tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir sehingga tegangan lebih tersebut tidak masuk ke transformator dan memproteksi transformator supaya tidak mengalami kerusakan. Dengan probe terpasang di beberapa section pada simulasi, Tabel 3 merupakan perbandingan tegangan normal, tegangan saat sambaran, dan saat arrester terpasang untuk sambaran pada section 6.

Tabel 3. Perbandingan Tegangan Sambaran Section 6

Section	Fasa	Tegangan (kV)		
		Normal	Tersambar Petir	Terpasang Arrester
Section 2	R	11,54	367,69	3,49
	S	11,54	218,28	9,56
	T	11,54	198,29	-8,38
Section 4	R	11,53	1129,66	10,85
	S	11,54	963,45	10,29
	T	11,54	943,46	-4,39
Section 5	R	11,53	2086,26	16,06
	S	11,54	1899,26	16,85
	T	11,54	1879,20	1,23
Section 6	R	11,53	2768,20	21,29
	S	11,54	2566,60	19,09
	T	11,54	2546,60	4,87
Section 7	R	11,53	2762,80	19,03
	S	11,54	2561,20	18,55
	T	11,54	2541,26	3,48

Prediksi Kinerja *Lightning Arrester* Terhadap Gangguan Sambaran Petir Pada Tahun Mendatang

Arrester mempunyai fungsi sebagai proteksi perlatan dari tegangan lebih. Ketika terjadi tegangan lebih *arrester* akan berfungsi melewatkan aliran Isitrik tinggi ke tanah sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan, namun saat kondisi normal *arrester* berlaku sebagai isolasi. Penempatan *arrester* terhadap peralatan listrik harus memperhatikan kawasan perlindungan yang baik untuk mendukung efektivitas kerja perlatan listrik agar tidak menimbulkan kerusakan yang diakibatkan tegangan lebih. Dari hasil penelitian kawasan perlindungan atau jarak *arrester* tidak disarankan melebihi 2,745 meter dari trafo. Kemudian hasil perbandingan di lapangan jarak penempatan *arrester* terhadap trafo tidak lebih dari 2,745 meter, sehingga penempatan *arrester* masih dalam kondisi yang diperbolehkan.

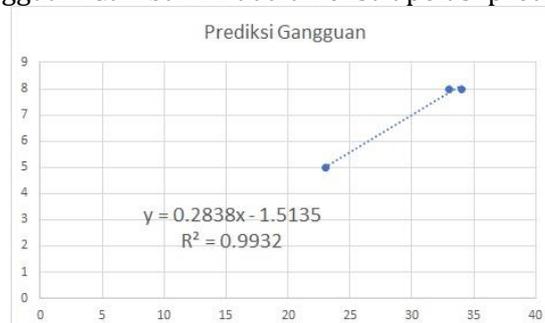
Data yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) diketahui bahwa gangguan yang terjadi di penyulang Glagah pada tahun-tahun sebelumnya yaitu tahun 2020 terdapat 34 gangguan dengan 8 kali gangguan yang disebabkan oleh petir, tahun 2021 terdapat 23 gangguan dengan 5 kali gangguan yang disebabkan oleh petir, tahun 2022 terdapat 33 gangguan dengan 8 kali gangguan disebabkan oleh petir, dan tahun 2023 dari data yang didapatkan hingga bulan Juni 2023 jumlah gangguan terdapat 14 gangguan dengan 4 kali gangguan yang disebabkan oleh petir.

Dari data tersebut, menggunakan rumus *forecast* pada *software excel* maka prediksi gangguan yang terjadi pada tahun 2024 sejumlah total 28 gangguan. Tabel 4 merupakan tabel prediksi gangguan tahun 2024.

Tabel 4. Prediksi Jumlah Gangguan

Tahun	Gangguan	Prediksi	Nilai Prediksi Terendah	Nilai Prediksi Tertinggi
2020	34			
2021	23			
2022	33	33	33.00	33.00
2023		29.786811	17.67	41.90
2024		28.454171	16.10	40.81

Menggunakan ekstrapolasi, prediksi jumlah gangguan yang disebabkan sambaran petir pada tahun 2024 adalah 6 kali gangguan. Gambar 12 adalah ekstrapolasi prediksi gangguan sambaran petir.



Gambar 13. Prediksi Gangguan Sambaran Petir

Untuk mencegah gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir secara maksimal, maka semua *arrester* yang dipasang berfungsi dengan baik dan mengganti apabila ada yang rusak, serta kondisi cuaca yang cerah atau baik, dapat mempengaruhi jumlah sambaran petir yang terjadi.

KESIMPULAN

Lightning Arrester adalah suatu alat bagi pelindung suatu sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap surja petir ini berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Kinerja *lightning arrester* untuk mengatasi gangguan sambaran petir untuk proteksi transformator dengan hasil simulasi pada *ATP Draw*, *lightning arrester* dapat memotong tegangan lebih yang disebabkan sambaran petir yang terjadi pada *section 7* sebesar 10 kA dengan waktu sambaran 0,5 ms yang menyebabkan tegangan lebih hingga 742,47 kV pada fasa R, 702,16 kV pada fasa S, dan 682,18 kV pada fasa T, dengan pemotongan oleh *arrester* pada waktu yang sama, tegangan menjadi sebesar 20,12 kV

pada fasa R, 19,65 kV pada fasa S, dan 4,62 kV pada fasa T. Untuk sambaran pada *section* 6 sebesar 40 kA dengan waktu sambaran 0,6 ms menyebabkan tegangan lebih hingga 2768,20 kV pada fasa R, 2566,60 kV pada fasa S, dan 2546,60 kV pada fasa T, dengan pemotongan oleh arrester pada waktu yang sama, tegangan menjadi sebesar 21,29 kV pada fasa R, 19,09 kV pada fasa S, dan 4,87 kV pada fasa T. Prediksi gangguan sambaran petir yang terjadi ditahun mendatang akan dapat diminimalisir atau tidak mempengaruhi jaringan listrik apabila *lightning arrester* yang terpasang dalam kondisi baik sehingga dapat memotong tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir. Prediksi gangguan pada tahun 2024 yaitu jumlah gangguan 28 kali dengan 6 kali gangguan yang disebabkan oleh petir apabila cuaca serta kondisi *lightning arrester* yang terpasang tidak berubah secara signifikan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. A, "Influence of Arrester Parameters on Overvoltage Characteristics on Protected Transformer," *J. Electr. Electron. Syst.*, vol. 07, no. 04, pp. 4–8, 2018, doi: 10.4172/2332-0796.1000284.
- [2] B. Ranjbar, A. Darvishi, R. Dashti, and H. R. Shaker, "A Survey of Diagnostic and Condition Monitoring of Metal Oxide Surge Arrester in the Power Distribution Network," *Energies*, vol. 15, no. 21, 2022, doi: 10.3390/en15218091.
- [3] R. Dashti, M. Daisy, H. Mirshekali, H. R. Shaker, and M. Hosseini Aliabadi, "A survey of fault prediction and location methods in electrical energy distribution networks," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 184, no. January, p. 109947, 2021, doi: 10.1016/j.measurement.2021.109947.
- [4] G. B. Lo Piparo, R. Pomponi, T. Kisielewicz, C. Mazzetti, and A. Rousseau, "Protection against lightning overvoltages: Approach and tool for surge protective devices selection," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 188, no. August, p. 106531, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106531.
- [5] M. N. Kiio, C. W. Wekesa, and S. I. Kamau, "Development of electrical power transmission system linear hybrid state estimator based on circuit analysis techniques," *Heliyon*, vol. 8, no. 10, p. e11000, 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11000.
- [6] J. Amme, G. Pleßmann, J. Bühler, L. Hülk, E. Kötter, and P. Schwaegerl, "The eGo grid model: An open-source and open-data based synthetic medium-voltage grid model for distribution power supply systems," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 977, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/977/1/012007.
- [7] A. Prof and M. Taha, "Climate Change and its Reflection on the Frequency of Lightning," vol. 6, no. 4, pp. 93–108, 2022.
- [8] Y. Spack-Leigsnring, M. G. Ruppert, E. Gjonaj, H. De Gersem, and V. Hinrichsen, "Simulation Analysis of Critical Parameters for Thermal Stability of Surge Arresters," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 37, no. 2, pp. 871–879, 2022, doi: 10.1109/TPWRD.2021.3073729.
- [9] P. Pasioka *et al.*, "The various pathological manifestations of a lightning strike exemplified in a single four-fatality incident – A case report and review of a literature," *Leg. Med.*, vol. 58, p. 102099, Sep. 2022, doi: 10.1016/J.LEGALMED.2022.102099.
- [10] Y. Zhao *et al.*, "Induced voltage at two poles of 10kV parallel distribution line caused by direct lightning strike on the phase wire of adjacent line," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 211, p. 108215, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.EPSR.2022.108215.
- [11] A. S. Zalhaf, Y. Han, P. Yang, C. Wang, and M. A. Khan, "Analysis of lightning transient performance of 132 kV transmission line connected to Miramar wind farm: A case study," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 257–265, 2022, doi: 10.1016/j.egy.2021.11.088.
- [12] A. I. Adekitan and M. Rock, "Lightning strike probability and current simulation for simple structures and floating roof tank," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 2, pp. 1643–1653, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.06.072.
- [13] N. A. Sabiha, "Limiting surge arrester failure under direct lightning strokes for attaining service continuity of distribution networks," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 14, no. 21, pp. 4796–4804, 2020, doi: 10.1049/iet-gtd.2020.0388.
- [14] A. M. Shah *et al.*, "Quartile Based Differential Protection of Power Transformer," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 35, no. 5, pp. 2447–2458, 2020, doi: 10.1109/TPWRD.2020.2968725.
- [15] J. Lai, X. Yin, Z. Zhang, Z. Wang, Y. Chen, and X. Yin, "System modeling and cascaded passivity based control for distribution transformer integrated with static synchronous compensator," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 113, no. April 2018, pp. 1035–1046, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.06.015.
- [16] J. Snodgrass and L. Xie, "Overvoltage analysis and protection of lightning arresters in distribution systems with distributed generation," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 123, no. May, p. 106209, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.106209.