

**PEMODELAN PERLINDUNGAN SAMBARAN PETIR
PADA TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK TEGANGAN TINGGI**

Fauzi Bramantyo¹, Rohana¹, Surya Hardi²

¹Program Magister Teknik Elektro Fakultas Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl. Denai No.217 Medan, Sumatera Utara 20371

²Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik

Jl. Almamater, Kampus USU, Padang Bulan, Medan, Sumatera Utara 20155

Universitas Sumatera Utara

*e-mail: bramantyo Fauzi@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sambaran petir merupakan gangguan yang sering terjadi pada saluran transmisi yang mana mengakibatkan tegangan lebih transien pada saluran transmisi dapat merambat sampai gardu induk. Pada gardu banyak terdapat peralatan-peralatan sensitif terhadap tegangan lebih transien diantaranya transformator. Untuk mencegah kerusakan akibat tegangan lebih dipasang Arester yang berfungsi untuk memotong gelombang yang masuk ke transformator. Simulasi penelitian dilakukan dengan menggunakan *software Alternative Transient Program (ATP)*. Arester dimodelkan sebagai model *IEEE*. Arester dipasang dilokasi sebelum dan sesudah menara terakhir serta diterminal transformator. Arus surja petir Standard IEC bervariasi dari 20 kA hingga 100 kA dengan kelipatan 20 kA diinjeksikan ke kawat tanah. Hasil diperoleh tegangan lebih maksimum pada sistem terjadi ketika diinjeksikan arus surja petir 100 kA dengan kondisi sistem belum terpasang Arester. Magnitude tegangan puncak pada masing-masing fasa berturut-turut yaitu Fasa A, Fasa B dan Fasa C adalah 3.649 kV, 2.837 kV, dan 3.473 kV. Tegangan minimum saat arus surja petir 20 kA diinjeksikan sesudah terpasang Arester setelah menara. Besarnya tegangan puncak pada Fasa A, Fasa B dan Fasa C berturut-turut yaitu 191 kV, 175 kV dan 175 kV. Dengan demikian pemasangan Arester dapat menurunkan tegangan lebih pada setiap fasanya. Lokasi pemasangan Arester yang paling efektif adalah setelah menara pada terminal transformator.

Kata kunci : ATP draw, Arester model IEEE, Transformator, Tegangan Lebih

ABSTRACT

Lightning strikes are disturbances that often occur on transmission lines which can result in transient overvoltage on the transmission line that propagates to the end of the network and finally reaches the substation. In the substation there are many equipment sensitive to overvoltage including transformers. To prevent damage due to overvoltage, an arrester is installed. A lightning strike is simulated to the transmission tower ground wire. The arrester is installed at the location before and after the last tower close to the power transformer. The IEC standard lightning surge current varies from 20 kA to 100 kA in steps of 20 kA. The result obtained is that the maximum overvoltage occurs when the system is injected with a lightning current of 100 kA with the condition that the system is not yet installed with magnitude for each phases Phase A, Phase B and Phase C are 3,649 kV, 2,837 kV and 3,473 kV. The minimum voltage that occurs when a lightning current of 20 kA is injected into the system is the arrester is installed, and the arrester is installed after the tower. The peak voltage values that arise in Phase A, Phase B and Phase C are 191 kV, 175 kV and 175 kV respectively. Installation of arresters can reduce the overvoltage on each phase and the most effective location for installing arresters is close to the power transformer.

Keywords: ATP draw, IEEE model Arrester, Transformator, Over voltage

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dua jenis sambaran petir pada sistem transmisi tenaga listrik, yang pertama adalah sambaran langsung yaitu sambaran yang langsung mengenai kawat fasa dan yang kedua adalah sambaran tidak langsung atau pengaruh induksi elektromagnetik. Kedua jenis sambaran ini mempunyai efek gelombang berjalan pada saluran yang terhubung hingga mencapai suatu terminal transformator daya pada gardu induk.

Penggunaan Arrester umumnya sebagai salah satu sistem perlindungan yang sering digunakan untuk melindungi dari bahaya gelombang berjalan akibat sambaran petir pada sistem transmisi. Metoda untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir langsung pada saluran transmisi diberikan perlindungan dengan kawat tanah (*ground wire*) letaknya di atas kawat fasa. berupa kawat tanah tunggal atau ganda dan tergantung dari disain menaranya.

Pengaruh karakteristik sambaran petir pada tegangan *back flashover* pada saluran transmisi tegangan ekstra tinggi 275 kV dipublikasi oleh (S. Hardi, et al 2021) dalam bentuk simulasi dengan perangkat lunak ATP. Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Violeta (Chris et al., 2000), penelitian menggunakan perangkat lunak *ATP-EMTP* dan *PSCAD/ EMTDC* pada jaringan transmisi 150 kV. Penelitian yang dilakukan membandingkan kemampuan ke dua perangkat lunak tersebut untuk memodelkan tegangan lebih petir. Parameter yang diamati adalah tegangan pada puncak menara, tegangan pada lengan menara dan tegangan pada tahanan kaki menara. Pengaruh sambaran petir pada penampilan Arrester dari saluran udara transmisi 150 kV disebabkan oleh karakteristik yang berbeda telah diinvestigasi oleh (Fri Murdiya dkk, 2019). Arrester dimodelkan dalam simulasi dua model yaitu Picenti dan Giat Antoni dengan menggunakan ATP draw. Pemodelan dan simulasi dari sebuah Arrester.

Surja kilat metal kksida didiskusikan oleh (Khan dan Peshawar, 2020) untuk proteksi saluran transmisi 132 kV. Arrester yang digunakan dalam simulasi adalah model Pinceti.

Penelitian ini mendiskusikan pengaruh sambaran petir ke kawat tanah menara transmisi dalam simulasi menggunakan perangkat lunak ATP dengan menginjeksikan arus surja petir model IEC bervariasi dari 20 kA hingga 100 kA dengan kelipatan arus 20 kA. Sistem proteksi petir menggunakan Arrester dipasang sebelum menara, antara menara dan transformator, dan di terminal transformator.

METODE PENELITIAN

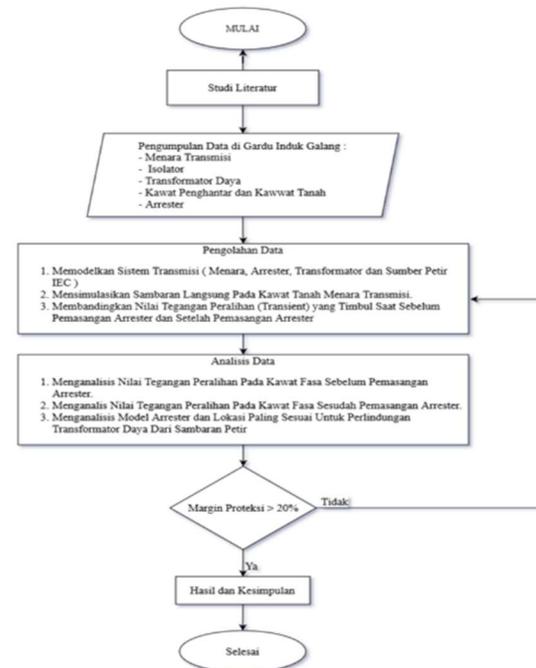
Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Saluran transmisi 150 kV Gardu Induk Binjai, dan Aplikasi ATP Draw v 5.6.

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli sampai dengan September 2021 dan lokasi penelitian adalah Gardu Induk Binjai 150 kV, yang berlokasi di Jl. Jati Karya, Kec. Binjai Utara, Kota Binjai, Sumatera Utara.

Desain Penelitian dan Data

Diagram Alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

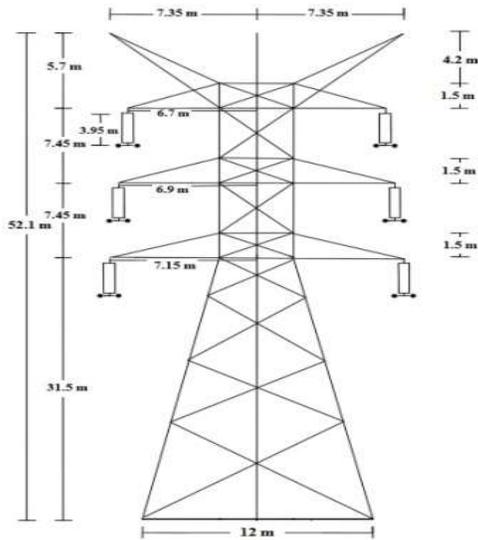


Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Data Pendukung Penelitian :

1. Data Menara Transmisi

Penelitian ini menggunakan menara sirkit ganda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kontruksi Menara Transmisi

2. Penghantar Kawat Fasa dan Kawat Tanah
Kawat fasa mengunakan jenis kon duktor ACSR, diameter 28,89 cm dengan resistansi 0,0642 Ω/km. Kawat tanah menara transmisi menggunakan jenis konduktor Galvanized Steel, diameter 1,22 cm dengan resistansi 0,364 Ω/km.
3. Isolator
Isolator menara transmisi yang digunakan merupakan isolator gantung berjumlah 11 buah dan panjang total 1,606 m.
4. Transformator Daya
Tranformator Daya 3 fasa, 150 kV/20 kV, 50 Hz, impedansi hubung singkat 12,69 %, tingkat isoalsi dasar disisi tegangan tinggi 650 kV.
5. Arus Surja Petir
Arus surja petir mengunakan bentuk gelombang model standard IEC-62305, dengan waktu muka (Tf) 1,2 μs dan waktu ekot (Tt) 50 μs dengan magnitude bervariasi secara bertahap dari 20 kA sampai dengan 100 kA, dengan kenaikan 20 kA.

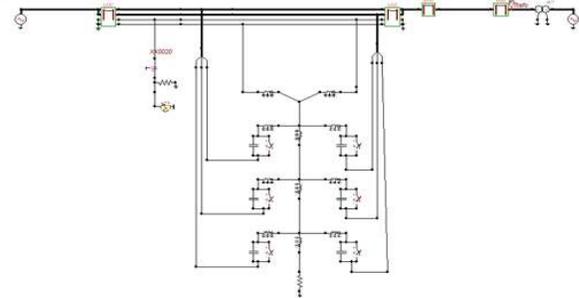
6. Arester

Arester yang digunakan pada penelitian ini memiliki tegangan maksimum 170 kV, Panjang 1,61 m, dan tegangan operasi 106 kV.

HASIL DAN PEMBAHASAN

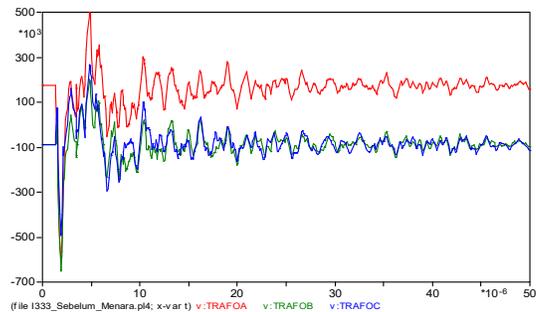
A. Sambaran Petir ke Kawat Tanah Menara Transmisi Tanpa Arester

Rangkaian pemodelan dan simulasi sambaran petir ke kawat tanah tanpa Arester dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian Simulasi Sambaran Petir Ke Kawat Tanah Menara Transmisi Tanpa Arester

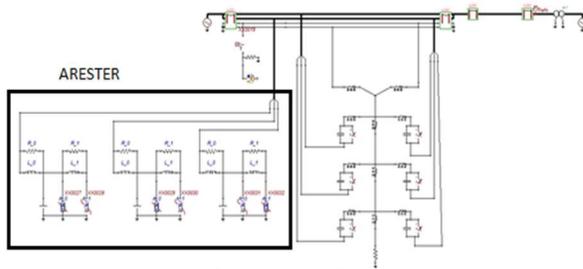
Tegangan yang dihasilkan pada Fasa A, Fasa B dan Fasa C adalah 3.649 kV, 2.836 kV, dan 3.473 kV. Bentuk Gelombang yang dihasilkan oleh sambaran arus petir 100 kA pada kawat tanah menara dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar ini menginformasikan bahwa tegangan fasa A adalah yang tertinggi hal ini dikarenakan pengaruh induksi dari kawat tanah. Kawat fasa A terletak pada bagian paling atas sehingga dekat dengan kawat tanah yang terkena sambaran petir. Sedangkan dua kawat fasa yang lain yaitu Fasa B dan Fasa C mempunyai nilai yang sama besar.



Gambar 4 Gelombang Simulasi Sambaran Petir Ke Kawat tanah Tanpa Arester

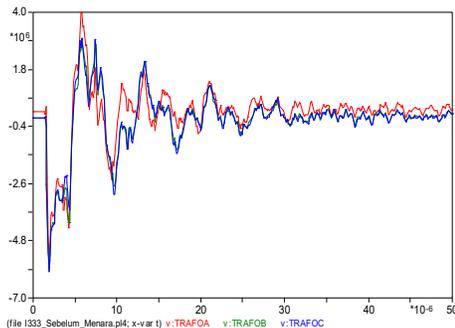
B. Sambaran Ke Kawat Tanah Menara Transmisi, Arester Dipasang Sebelum Menara

Rangkaian simulasi untuk sambaran petir ke kawat tanah dan Arester dipasang diposisi sebelum menara dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Rangkaian Simulasi Sambaran Petir Ke Kawat Tanah Arester Dipasang Sebelum Menara

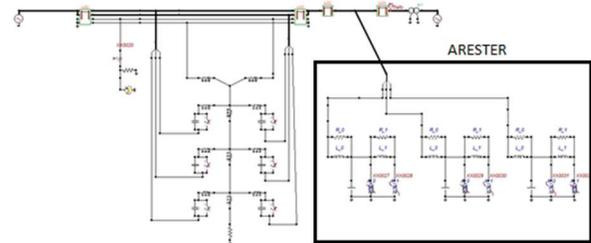
Tegangan yang dihasilkan pada Fasa A, Fasa B dan Fasa C berturut-turut 4.087 kV, 3.074 kV, dan 3.188 kV. Hasil simulasi menunjukkan tegangan yang timbul pada tiap-tiap fasanya relatif besar dan berpotensi mengancam peralatan sistem transmisi. Hal ini berarti posisi pemasangan Arester pada lokasi sebelum menara terakhir belum dapat mengurangi gelombang tegangan yang terjadi. Tegangan fasa A sedikit lebih tinggi dari pada yang lainnya, karena Fasa A berada di bawah kawat tanah. Ke tiga gelombang tegangan memberikan bentuk gelombang yang hampir sama. Bentuk gelombang dihasilkan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Gelombang Sambaran Petir Ketika Arester Dipasang Sebelum Menara

C. Sambaran Pada Kawat Tanah Menara Transmisi, Arester dipasang Setelah Menara Transmisi dan Dekat Dengan Transformator

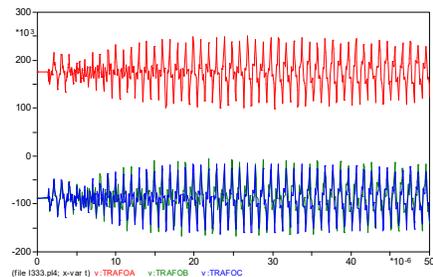
Rangkaian Simulasi Sambaran petir pada kawat tanah menara transmisi dan Arester dipasang pada lokasi setelah menara terakhir dan dekat dengan transformator daya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Rangkaian Simulasi Sambaran Petir Ke Kawat Tanah Arester Dipasang Setelah Menara Terakhir dan Dekat Dengan Transformator Daya

Tegangan yang dihasilkan pada Fasa A, Fasa B dan Fasa C adalah 250 kV, 176 kV, dan 176 kV. Gelombang yang dihasilkan akibat sambaran arus petir pada kawat tanah menara transmisi dengan kondisi Arester dipasang antara menara dengan transformator daya dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8 Gelombang Sambaran Petir Ketika



Arester Terpasang Dekat Dengan Transformaor

Terlihat tegangan yang timbul pada terminal transformator menjadi berkurang dibandingkan ketika sistem belum terpasang arester, hal ini disebabkan karena ketika arester sudah terpasang kedalam sistem tegangan lebih petir dialirkan langsung ke tanah melalui arester, sehingga tidak terlalu mengganggu kinerja sistem.

D. Perbandingan Nilai Puncak Tegangan Pada Berbagai Lokasi Pemasangan Arester.

Pada Tabel 1 terlihat bahwa lokasi pemasangan Arester yang paling sesuai untuk pengamanan peralatan dari gangguan tegangan lebih yang terjadi adalah dengan memasang arester diposisi setelah menara terakhir dan dekat dengan transformator daya, agar arus petir yang mengalir disepanjang penghantar dapat segera dialirkan ke tanah.

Tabel 1. Perbandingan Tegangan Fasa dengan pemasangan Arester berbeda

Nilai Injeksi (kA)	Kondisi Pemasangan Arester (kV)			
		Belum Terpasang	Sebelum Menara	Dekat Transformator
20	A	848	941	191
	B	493	498	175
	C	624	515	852
40	A	1.548	1.704	206
	B	1.079	1.125	176
	C	1.336	1.126	176
60	A	2.249	2.469	220
	B	1.664	1.752	176
	C	2.049	1.736	176
80	A	2.949	3.234	234
	B	2.251	2.280	176
	C	2.761	2.360	176
100	A	3.649	4.000	250
	B	2.837	3.007	176
	C	3.473	2.987	176

E. Margin Proteksi

Langkah – langkah dalam menentukan faktor perlindungan:

- Menentukan Tegangan Pengenal (U_C) Arester
Tegangan Sistem Maks = 170 kV
Tegangan (U_C) = $V_{nominal} \times Koef \times 1,1$
= 132 kV
- Tegangan Terminal (U_A) Arester.
Rating yang mendekati nilai perhitungan 135 kV adalah Arester dengan rating 138 kV, dan tegangan kinerjanya adalah 460 kV.
- Tingkat Perlindungan (TP) Arester.
(TP) Arester = $U_A + 10\%$
= 460 kV + 46 kV = 506 KV
- Faktor Perlindungan

$$= \frac{BIL_{Peralatan} - TP_{Arrest}}{BIL_{Peralatan}} \times 100\%$$

$$= \frac{(650 - 50) \text{ kV}}{650 \text{ kV}} \times 100\% = 22,15 \% \text{ (Aman)}$$

KESIMPULAN

Dari hasil simulasi memberi kesimpulan sebagai berikut:

- Tanpa Arester tegangan maksimum pada terminal transformator ketika nilai injeksi 100 kA, pada masing–masing fasa adalah Fasa A, Fasa B dan Fasa C berturut-turut sebesar 3.649 kV, 2.836 KV, dan 3.473 kV
- Setelah adanya pemasangan Arester terjadi penurunan puncak tegangan pada masing–masing fasa.
- Pemodelan Arester IEEE memberikan perlindungan dengan tegangan puncak yang tidak jauh berbeda.
- Model Pemasangan Arester yang paling tepat dipasang untuk perlindungan sistem dari sambaran Petir adalah setelah Menara terakhir dan dekat dengan transformator daya.

DAFTAR PUSTAKA

Hardi, S. F Mirza , Ferry R A Bukit, Rohana (2021) Influence Of Lightning Characteristics On Back Flashover In Extra High Voltage Transmission Line: A Case Study Journal of Physics: Conference Series,

Alba, B. (2015). *Ob3-05 Behavior Of Metal Oxide Surge Arrester For Fast. August 2013.*

Chris, V., Bala, C., & Cragiun, M.-D. (2000). Simulation Of Lightning Overvoltages With Atp-Emp And PSCAD/EMTDC. *ACTA UNIVERSITATIS APULENSIS*, 453–460.

Hara, T., & Yamamoto, O. (1996). Modelling Of A Transmission Tower For Lightning-Surge Analysis. *IEE Proceedings: Generation, Transmission and Distribution*, 143(3), 283–289. <https://doi.org/10.1049/ip-gtd:19960289>

Khan, A. U., & Peshawar, E. S. (2020). *Modeling and Simulation of a Metal Oxide Lightning Surge Arrester for 132kV Overhead Transmission Lines*. 22(4), 389–394.

- Mitra, R., & De, S. (2019). Comparison study of lightning effect on high voltage towers. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GUCON 2018*, 337–340. <https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675080>
- Murdiya, F., Stevany, C., & Sano, H. A. (2019). *Journal of Mechatronics , Electrical Power , The effect of lightning impulse characteristics and line arrester to the lightning protection performance on 150 kV overhead lines : ATP-EMTP computational approach*. 10, 49–59.
- Prikler, L., & Høidalen, H. K. (2009). *for Windows 9x / NT / 2000 / XP / Vista Users ' Manual*. 1.
- Sitar, V., & Veleba, J. (2020). Modelling of Metal Oxide Surge Arresters in Simulation Software DYNAST. *Transactions on Electrical Engineering*, 6(1), 21–27. <https://doi.org/10.14311/tee.2017.1.021>