

Studi Analisis Sistem Proteksi Tegangan Lebih (*Over Voltage*) Menggunakan *Software ATP (Analysis Transient Programme)* Studi Kasus Pada Gardu Induk Bantul 150 kV

Muhammad Rizaldy¹, Ramadoni Syahputra¹, Anna Nur Nazila Chamim¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jl. Lingkar Barat, Tamantirto, Kasihan, Bantul Yogyakarta 55183, Telp. 0274-387656 Fax. 0274-387646
Email: muhammad27rizaldy@gmail.com

Electrical power system protection is used to protect the power system equipment from over voltage due to lightning strike. Lightning arrester or commonly known as arrester are a device used to protect electric power system equipment from abnormal conditions due to lightning strikes (surge impulse) and short circuit (switching). The purpose of this reaserch is to obtain the ideal distance in the placement of arrester and power transformer against over voltage protection using ATP (Analysis Transient Programme) simulation software in Bantul Substation 150 kV. The method used is by determine the placement of the arrester to the transformer using ATP Draw software simulation and to do comparison with the calculation analysis of arresters placement based on the standard of IEC (1958) and SPLN (1978:4). The comparison of the overvoltage value in the primary side transformer while the lightning advance time of 1.2454×10^{-3} ms is 861.06 kV for the uninstalled system of arrester, 215.43 kV for the installed system of arrester with a distance of 3.15 meters from the transformer and 215.48 kV for the system installed arrester with distance of 15 meters from transformer. The value of the lightning strike voltage at 0.012401 ms is greater than the value of the lightning strike voltage at 0.03410 ms. This is because the smaller the face time of the lightning strike then the time required to reach the peak voltage faster.

Keywords: Protection, lightning strike, transient, overvoltage, transformer, power system, arrester, ATP Draw

I. PENDAHULUAN

Peran dari energi listrik tidak dapat dipisahkan dari perkembangan dan kemajuan teknologi. Perkembangan yang pesat ini harus sejalan dengan ketersediaan dan kesinambungan penyediaan energi listrik. Salah satu penyebab rendahnya tingkat keandalan dalam penyaluran energi listrik yaitu adanya gangguan (*fault*) yang terjadi di daerah saluran transmisi dan distribusi akibat sambaran petir. Berdasarkan cara sambarannya, sambaran petir dibagi menjadi dua jenis, yaitu sambaran petir langsung (*direct stroke*) terjadi apabila petir menyambar langsung kawat fasa atau kawat pelindungnya dan sambaran petir tidak langsung (*indirect stroke*) terjadi apabila petir menyambar objek di sekitar saluran transmisi dan distribusi.

Gardu Induk Bantul 150 kV merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang terinterkoneksi dengan gardu induk lainnya yang berada di pulau jawa dan berperan penting dalam proses pendistribusian energi listrik sehingga membutuhkan keandalan yang tinggi. komponen penting dalam pendistribusian energi listrik tegangan menengah di Gardu Induk Bantul 150 kV adalah transformator tenaga. Karena transformator tenaga terhubung dengan saluran udara tegangan tinggi 150 kV dan penempatannya di daerah terbuka, maka pada transformator tenaga mudah terjadi gangguan tegangan lebih (*over voltage*) akibat dari sambaran petir secara langsung atau sambaran petir tidak langsung (induksi).

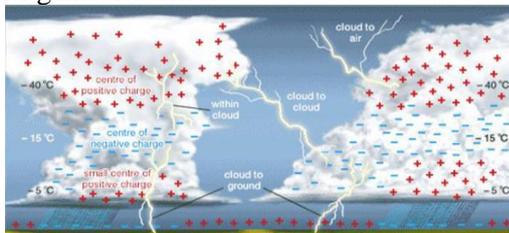
Berdasarkan sistem proteksi pada Gardu Induk Bantul 150 kV, terdapat metode dalam penentuan jarak ideal penempatan arrester sebagai

proteksi transformator tenaga di Gardu Induk Bantul, yaitu penempatan arrester dengan menggunakan metode simulasi *software* ATP Draw dan metode analisis perhitungan penempatan arrester berdasarkan standar dari IEC (1958) dan SPLN (1978:4). Dengan demikian akan dapat diketahui tingkat keandalan dari sistem operasi arrester untuk proteksi transformator tenaga (*power transformer*) di Gardu Induk Bantul 150 kV

II. DASAR TEORI

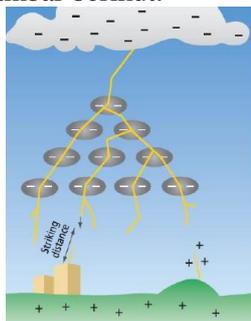
1. Fenomena Terjadinya Petir

Awan terdiri dari daerah bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan berpolaritas berlawanan ke awan terdekat atau ke bumi. Gradien potensial di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam tapi gradien tersebut timbul pada bagian konsentrasi muatan tinggi. Ketika gradien tegangan tinggi pada titik konsentrasi muatan dari awan melebihi harga tembus udara yang terionisasi, maka udara di daerah konsentrasi tekanan tinggi mengionisasi atau tembus (*breakdown*). Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Sambaran petir ke bumi mulai ketika suatu muatan sepanjang pinggir awan menginduksikan suatu muatan lawan ke bumi seperti gambar berikut.



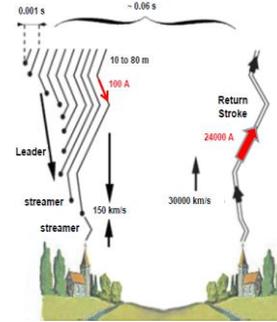
Gambar 1. Proses pembentukan awan bermuatan

Kemudian akan timbul lidah petir kearah bawah yang menyebar dari awan ke bumi seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Lidah petir menjalar ke arah bumi

Ketika lidah petir menjalar ke permukaan bumi, maka selang beberapa mili detik akan timbul sambaran petir kembali kearah atas (awan) dan biasanya dari titik sambaran petir tertinggi disekitarnya. Bila lidah petir kearah atas dan kearah bawah bertemu (150 km/s) seperti terlihat pada gambar dibawah, maka akan terjadi suatu hubungan awan dan bumi sehingga proses pelepasan energi muatan awan ke dalam tanah (*ground*) terjadi.



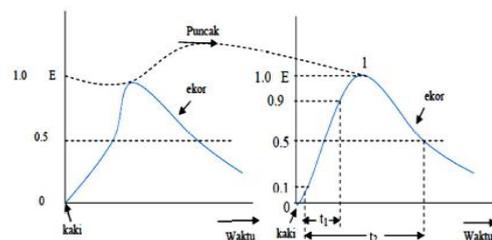
Gambar 3. Proses pembentukan awan bermuatan

Kemudian muatan dari awan tersebut akan terinduksi ke saluran transmisi (jaringan listrik) yang berada disekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi tersebut akan dinetralsisir oleh tanah, namun kemungkinan terjadinya tegangan lebih (*over voltage*) akibat induksi pada saluran transmisi sangat tinggi sehingga diperlukan proteksi (kabel *ground*) pada saluran transmisi.

2. Gelombang Berjalan (*Travelling Wave*)

Adapun spesifikasi dari suatu gelombang berjalan antara lain:

- Puncak (*crest*) gelombang, E (kV) yaitu amplitudo maksimum dari gelombang.
- Muka gelombang, t_1 (mikro detik) yaitu waktu dari permulaan sampai puncak gelombang. Dalam praktek ini diambil dari 10% E Ekor gelombang, yaitu bagian dibelakang puncak. Panjang gelombang t_2 (mikro detik) yaitu waktu dari permulaan sampai titik 50% E pada ekor gelombang.
- Polaritas, yaitu polaritas dari suatu gelombang berjalan (positif atau negatif).



Gambar 4. Spesifikasi gelombang berjalan

Suatu gelombang berjalan (surja) dapat dinyatakan dengan perbandingan sebagai berikut:

$$E, t_1/t_2$$

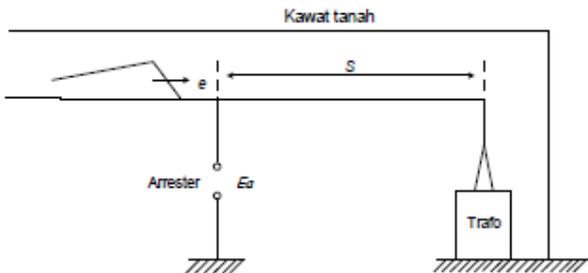
E = Tegangan puncak gelombang (kV)

t_1/t_2 = Rasio muka gelombang terhadap ekor gelombang surja (ms)

Jika polaritas positif suatu gelombang surja dengan puncak 1000 kV, maka tiap 3 μ s, dan panjang 21 μ s dapat dinyatakan sebagai: +1000, 3/21.

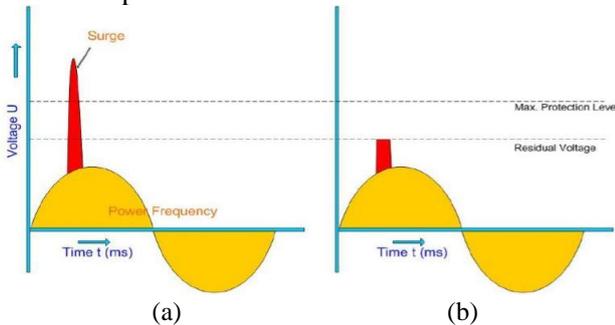
3. Lightning Arrester (LA)

Lightning Arrester atau yang biasa dikenal dengan arrester adalah sebuah alat pelindung untuk komponen sistem tenaga listrik terhadap tegangan lebih (*over voltage*), baik yang disebabkan oleh surja petir (*lightning impulse*) maupun surja hubung (*switching*). Adapun gambar skema penempatan arrester terhadap transformator adalah sebagai berikut.



Gambar 5. Penempatan arrester terhadap transformator

Berikut adalah gambar perbandingan gelombang tegangan terhadap waktu dalam penggunaan arrester dan tanpa arrester akibat adanya tegangan surja (*surge impulse*) dari sambaran petir.



Gambar 6. Gelombang tegangan lebih transien (a) Tanpa arrester (b) Dengan arrester

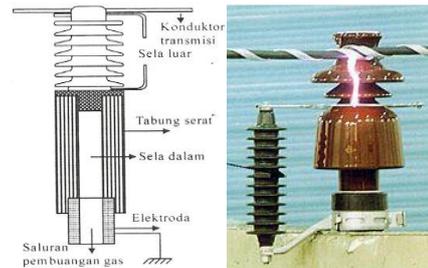


Gambar 7. Grafik level tegangan sistem yang dilewatkan menggunakan arrester dan tanpa arrester akibat sambaran petir pada peralatan gardu induk

4. Jenis Arrester

4.1 Jenis Ekspulsi (*Ekspulsion Type*)

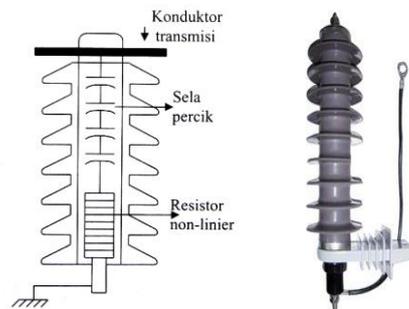
Arrester jenis ekspulsi/tabung pelindung pada prinsipnya adalah jika suatu gangguan tegangan lebih (*over voltage*) mencapai titik terminal arrester, maka akan terjadi *spark over* pada serat dan sela percik batang yang berada di luar (*gap luar/sela seri*) dan sela percik yang berada dalam tabung (*gap dalam*)



Gambar 8. Arrester jenis ekspulsi (*expulsion type*)

4.2 Jenis Katup (*Valve Type*)

Bentuk arrester ini lebih besar dari tipe ekspulsi dan harganya lebih mahal. Arrester ini terdiri dari beberapa sela percik yang dihubungkan seri (*series gap*) dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tak linier.



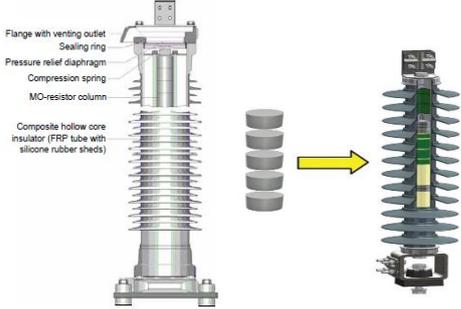
Gambar 9. Arrester jenis katup (*valve type*)

Berdasarkan materialnya, arrester jenis tahanan katup/varistor (*valve resistor*) dibedakan

menjadi dua jenis, yaitu material jenis *zinc oxide* (ZnO) dan material jenis *silicon carbid* (SiC).

a. Jenis Seng Oksida (*zinc oxide*/ZnO)

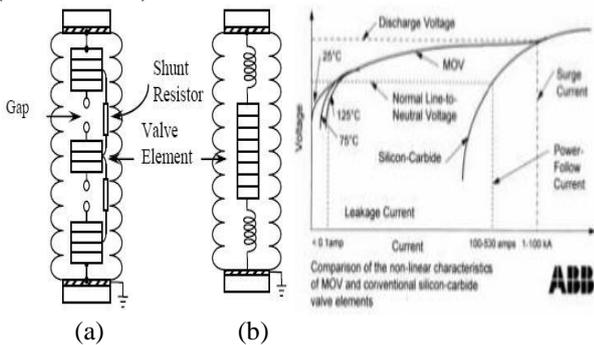
Arrester jenis seng oksida atau yang biasa dikenal dengan nama metal oxide arrester (MOA) merupakan arrester yang tidak memiliki sela seri dan terdiri dari satu atau lebih unit yang kedap udara yang masing-masing berisikan blok-blok ZnO (*zinc oxide*) sebagai elemen aktif tahanan katup (*valve resistor*) dari arrester ini. Berikut adalah gambar dari arrester katup dengan elemen aktif seng oksida (ZnO).



Gambar 10. Arrester seng oksida dengan elemen aktif (*zinc oxide*/ZnO)

b. Jenis *Silicon Carbide* (SiC)

Arrester non linear umumnya terdiri dari beberapa celah (*spark gaps*) yang terpasang secara serial dengan elemen resistor SiC (*silicon carbide*). Arrester ini terhubung dengan konduktor fasa dan bumi (*ground*). Berikut adalah material terpasang dan grafik perbandingan antara tegangan dan arus pada arrester jenis SiC (*silicon carbide*) dan ZnO (*metal oxide*).



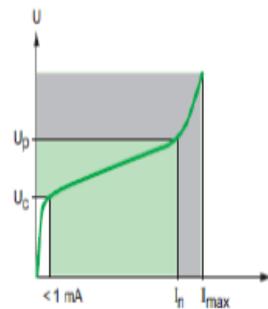
Gambar 11. Posisi material terpasang dan grafik perbandingan tegangan dan arus antara arrester jenis (a) SiC dan (b) ZnO

c. Karakteristik *Lightning Arrester*

Arrester yang ideal memiliki karakteristik sebagai berikut^[1]:

1. Arrester mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (*voltage limiting*) apabila dilalui beberapa jenis arus petir. Karakteristik pembatas tegangan merupakan harga tegangan pada terminal yang mampu ditahan oleh arrester pada waktu menyalurkan arus tertentu (harga ini berubah dengan besarnya arus).
2. Arrester mempunyai batasan termis, yaitu kemampuan melewati arus sambaran petir dalam durasi yang lama dan berulang-ulang.
3. Pada jenis arrester ini bekerja berdasarkan tahanan tidak linier, maksudnya ketika arrester bekerja tahanan tidak linier ini akan turun nilainya sehingga arrester berubah menjadi konduktor sedangkan ketika tegangan sistem kembali normal tahanan tidak linier arrester bernilai besar sehingga arrester bersifat isolator dan dapat bekerja seperti semula setelah terjadinya pemutusan arus susulan.
4. Arrester harus mampu melepaskan tegangan lebih melalui aliran arus surja ke tanah tanpa merusak arrester itu sendiri dan harus memiliki harga tahanan di bawah 5 ohm.

Standar internasional IEC 61643-1 Edition 2.0 (03/2005) mendefinisikan karakteristik dan tes untuk perangkat perlindungan surja/petir (*surge protection device*) pada sistem distribusi tegangan rendah seperti yang diperlihatkan pada grafik dibawah ini.

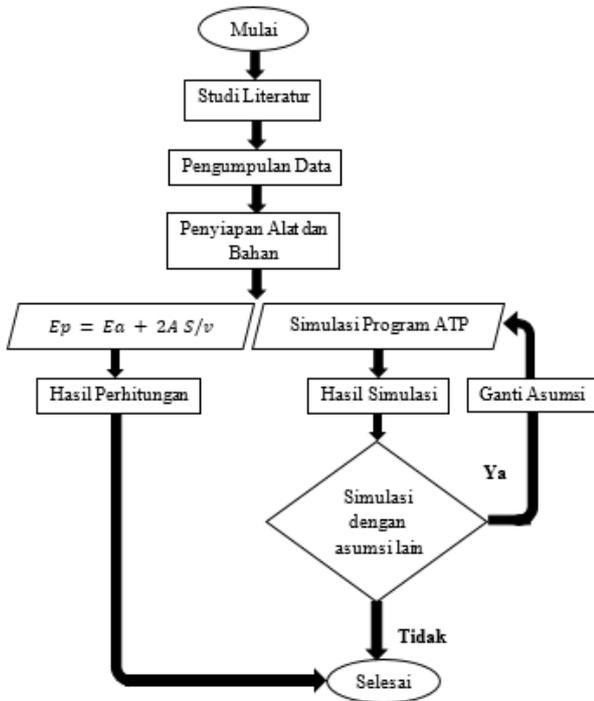


Gambar 12. Karakteristik arus/waktu dari sebuah SPD dengan varistor

(sumber: *Overvoltage protection*, Chapter J, Schneider Electric Electrical installation guide 2010)

III. METODOLOGI

Berikut adalah diagram alir analisis perhitungan dan simulasi ATP Draw untuk menentukan jarak ideal penempatan arrester dan transformator akibat sambaran petir.



Gambar 13. Diagram alir Penelitian

IV. Hasil dan Pembahasan

1. Penentuan Tegangan Dasar Arrester

Perhitungan tegangan dasar arrester dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$E_r = \alpha \beta U_m$$

$$E_r = 0.8 \times 1.2 \times 150 \text{ kV}$$

$$E_r = 144 \text{ kV}$$

Keterangan:

E_r = Tegangan dasar arrester (kV)

α = Koefisien pembumian (0.8)

β = Toleransi guna memperhitungkan fluktuasi tegangan dan efek ferranti (1.2)

U_m = 150 kV (Tegangan di Gardu Induk Bantul)

2. Arus Pelepasan Arrester

Perhitungan arus pelepasan arrester pada transformator di *switchyard* Gardu Induk Bantul 150 kV dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$I_a = \frac{2 U_d - U_A}{Z}$$

$$I_a = \frac{2 \times 200 \text{ kV} - 144 \text{ kV}}{440.31}$$

$$I_a = \frac{256}{440.31}$$

$$I_a = 0.581 \text{ kA}$$

Keterangan:

I_a = Arus pelepasan arrester (kA)

U_d = Tegangan gelombang datang (kV) diasumsikan sebesar 200 kV

U_A = Tegangan kerja arrester (144 kV)

Z = Impedansi surja (Ω)

3. Jarak Ideal Arrester

Dengan menerapkan persamaan dari standard IEC (1958) dan SPLN (1978:4), maka jarak ideal arrester dan transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV adalah sebagai berikut.

$$E_p = E_a + 2 A S / v$$

$$165 = 144 + 2 \times 1000 \frac{S}{300}$$

$$S = \frac{(165 - 144) 300}{2 \times 1000}$$

$$S = 3.15 \text{ m}$$

Keterangan:

E_p = 165 kV (Tegangan jepitan Tap I

transformator II GI Bantul 150 kV)

E_a = 144 kV (Tegangan percikan arrester

transformator II GI Bantul 150 kV)

A = 1000 kV/ μ s (Rekomendasi IEC, 1958

Recommendation for Lightning Arrester, 99)

v = 300 m/ μ s (Kecepatan cahaya)

4. Basic Impulse Insulation Level (BIL) Transformator

Perhitungan tegangan sambaran petir maksimal pada transformator II di Gardu Induk Bantul 150 kV dengan asumsi sambaran petir 200 kV/ μ s menggunakan persamaan dari SPLN 7.1987 adalah sebagai berikut.

$$e_2 = \frac{2 z_{p1}}{z_{p1} + z_2} e_1$$

$$e_2 = \frac{2 \times 21,011.1}{21,011.1 + 2,546.8} \times 200$$

$$e_2 = 356.75 \text{ kV}/\mu\text{s}$$

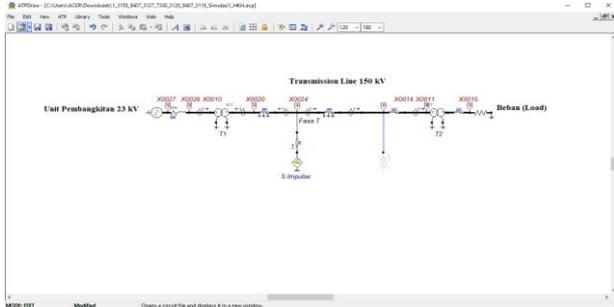
Keterangan:

- e_2 = Tegangan surja sisi jumper (kV)
- e_1 = Tegangan surja sambaran petir (200 kV/ μs) menurut SPLN 7. 1987
- Z_{p1} = Impedansi transformator primer (21011.1 Ω)
- Z_2 = Impedansi tranfo sekunder (2546.8 Ω)

5. Simulasi Software ATP Draw

5.1 Skenario Sistem Tanpa Arrester

Berikut ini adalah gambar rangkaian simulasi ATP Draw pada skenario sistem tanpa perlindungan arrester di Gardu Induk Bantul 150 kV.

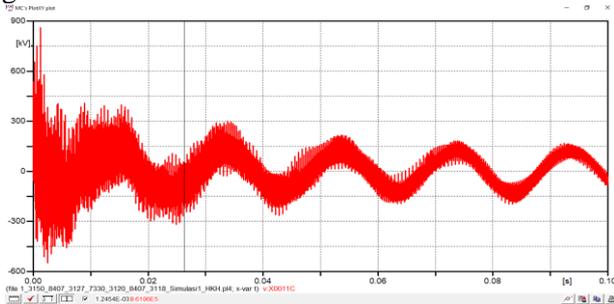


Gambar 14. Skenario sistem tanpa arrester

Adapun hasil dari skenario sistem tanpa perlindungan arrester di Gardu Induk Bantul 150 kV adalah sebagai berikut.

a. Tegangan Terhadap Waktu pada Jepitan Transformator Primer

Nilai tegangan impuls puncak terhadap waktu dititik sambaran petir pada fasa T (X0024C) adalah 779.27 kV dengan durasi waktu puncak sambaran petir 1.2408 ms seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 15. Gelombang tegangan terhadap waktu pada jepitan transformator primer

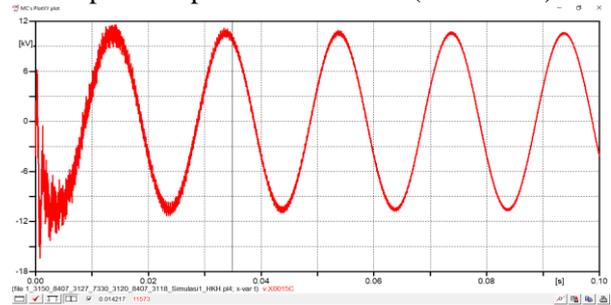
Adapun tabel keseluruhan dari puncak masing-masing tegangan dan impuls petir terhadap waktu muka petir pada jepitan (*bushing*) transformator adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan tegangan terhadap waktu dijepitan transformator bagian primer

Puncak Gelombang	Tegangan (kV)	Waktu (ms)
1	861.06	1.2454
2	407.56	8.8841×10^{-3}
3	300.83	0.033785
4	216.68	0.053625
5	184.01	0.073845

b. Tegangan Terhadap Waktu pada beban

Berikut adalah gambar gelombang tegangan terhadap waktu pada beban dititik (*v:X0015C*).



Gambar 16. Gelombang tegangan terhadap waktu pada beban (*load*)

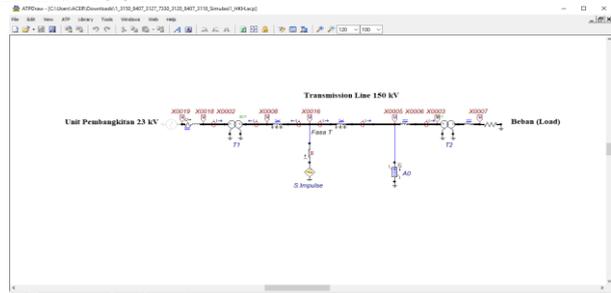
Adapun tabel keseluruhan dari puncak masing-masing tegangan dan impuls petir terhadap waktu muka petir pada beban (*load*) atau transformator bagian sekunder adalah sebagai berikut.

Tabel 2 Perbandingan tegangan terhadap waktu dibeban

Puncak Gelombang	Tegangan (kV)	Waktu (ms)
1	11.573	0.014217 s
2	11.169	0.033385
3	10.907	0.053568
4	10.756	0.073857
5	10.675	0.093628

5.2 Skenario Sistem Dengan Arrester

Berikut ini adalah gambar rangkaian simulasi ATP Draw pada skenario sistem dengan perlindungan arrester jenis MOV di Gardu Induk Bantul 150 kV.



Gambar 17. Skenario sstem dengan arrester

Adapun hasil dari skenario sistem dengan perlindungan arrester jenis MOV di Gardu Induk Bantul 150 kV adalah sebagai berikut.

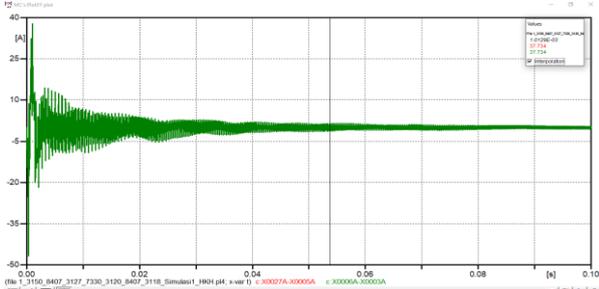
5.2.1 Kondisi di Arrester dan Transformator

1. Asumsi Jarak Ideal Arrester dan Transformator 3.15 Meter

Pada skenario ini jarak arrester terhadap transformator adalah 3.15 meter berdasarkan analisis perhitungan standar dari IEC (1958) dan SPLN (1978:4).

a. Arus Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik arus terhadap waktu dititik arrester (c:X0027A-X0005A) dan jepitan transformator (c:X0006A-X0003A).

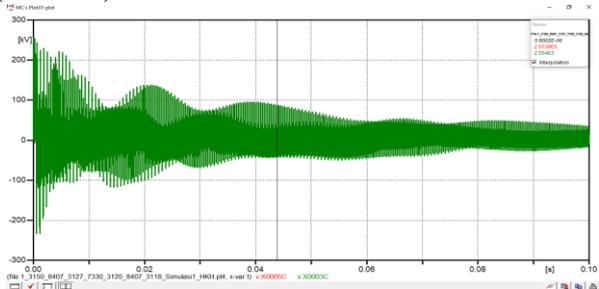


Gambar 18. Kondisi gelombang arus terhadap waktu dititik arrester dan jepitan transformator

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar nilai arus di titik arrester dan jepitan transformator yang terjadi saat waktu muka petir 1.0129×10^{-3} s adalah 37.734 ampere. Hal ini membuktikan bahwa penempatan arrester dengan jarak 3.15 meter dari transformator mampu mengurangi arus akibat sambaran petir sampai 2268.6 ampere.

b. Tegangan Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik terhadap waktu dititik arrester (X0005C) dan jepitan transformator (X0003C).



Gambar 19. Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dititik arrester dan jepitan transformator

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar tegangan puncak impuls dan waktu muka petir pada arrester dan jepitan transformator primer

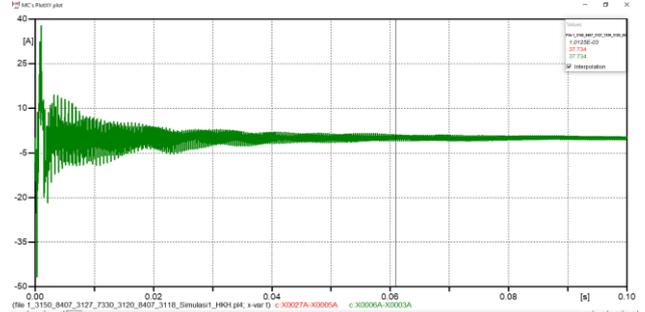
adalah $255.43 \text{ kV } 5.7976 \times 10^{-6} \text{ ms}$. Hal ini membuktikan bahwa penempatan arrester dengan jarak 3.15 meter dari transformator mampu memotong nilai tegangan sambaran petir menjadi 605.66 kV.

2. Asumsi Jarak Ideal Arrester dan Transformator 15 Meter

Pada skenario ini jarak arrester terhadap transformator adalah 15 meter berdasarkan data asli yang ada dilapangan (Gardu Induk Bantul 150 kV).

a. Arus Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik arus terhadap waktu dititik arrester (c:X00027A-X0005A) dan jepitan transformator (c:X0006A-X0003A).

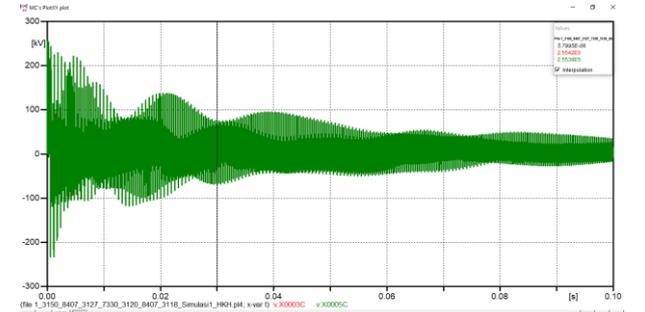


Gambar 20. Kondisi gelombang arus terhadap waktu dititik arrester dan jepitan transformator

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar nilai arus di titik arrester dan jepitan transformator yang terjadi saat waktu muka petir 1.0125×10^{-3} s adalah 37.734 ampere. Hal ini membuktikan bahwa penempatan arrester dengan jarak 15 meter dari transformator mampu mengurangi arus akibat sambaran petir sampai 2268.66 ampere.

b. Tegangan Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik tegangan terhadap waktu dititik arrester (v:X0005C) dan jepitan transformator (v:X0003C) saat pemasangan arrester dengan jarak 15 meter dari transformator.



Gambar 21. Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dititik arrester dan jepitan transformator

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar tegangan puncak impulse dan waktu muka petir pada arrester dan jepitan transformator primer adalah 255.49 kV 5.7989×10^{-6} ms. Hal ini membuktikan bahwa penempatan arrester dengan jarak 15 meter dari transformator mampu memotong nilai tegangan sambaran petir menjadi 605.66 kV.

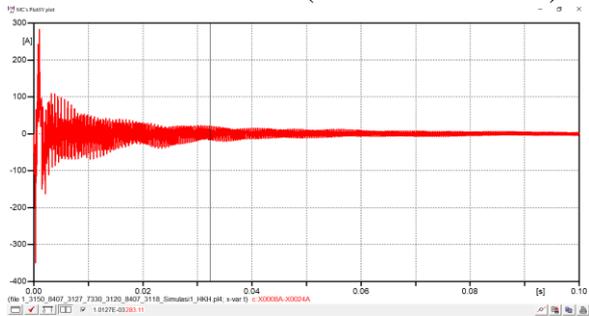
5.2.2 Kondisi di Beban

1. Asumsi Jarak Ideal Arrester dan Transformator 3.15 Meter

Pada skenario ini jarak arrester terhadap transformator adalah 3.15 meter berdasarkan analisis perhitungan standar dari IEC (1958) dan SPLN (1978:4).

a. Arus Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik arus terhadap waktu dititik beban/load (c:X0008A-X0024A)

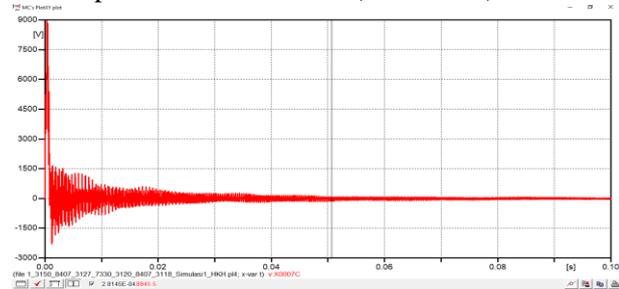


Gambar 22. Kondisi gelombang arus terhadap waktu dibeban (load)

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar nilai arus dititik beban (load) yang terjadi saat waktu muka petir 1.0127×10^{-3} s adalah 283.11 ampere

b. Tegangan Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik tegangan terhadap waktu dititik beban (v:X0007C).



Gambar 23. Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dibeban (load)

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar impulse tegangan akibat sambaran petir

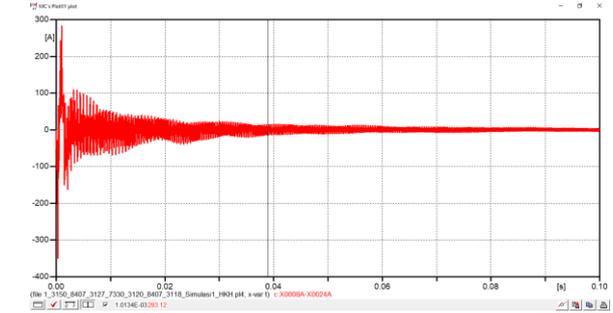
dibeban adalah 8.9455 kV saat waktu muka petir 2.8145×10^{-4} s.

2. Asumsi Jarak Ideal Arrester dan Transformator 15 Meter

Pada skenario ini jarak arrester terhadap transformator adalah 15 meter berdasarkan data asli yang ada dilapangan (Gardu Induk Bantul 150 kV).

a. Arus Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik arus terhadap waktu dititik beban (c:X0008A-X0024A)

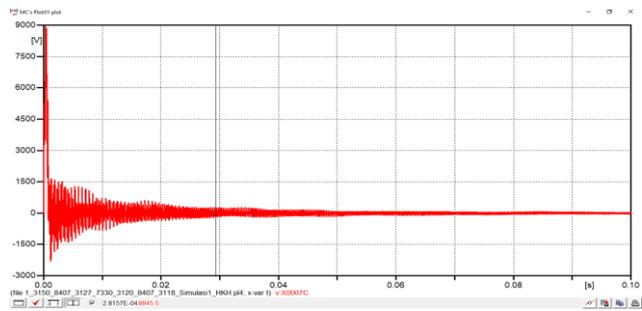


Gambar 24. Kondisi gelombang arus terhadap waktu dibeban (load)

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa besar nilai arus dititik beban (load) yang terjadi saat waktu muka petir 1.0134×10^{-3} s adalah 283.12 ampere.

b. Tegangan Terhadap Waktu

Berikut adalah gambar grafik tegangan terhadap waktu dititik beban (X0007C) saat pemasangan arrester dengan jarak 15 meter dari transformator.



Gambar 25. Kondisi gelombang tegangan terhadap waktu dibeban (load)

5.3 Tabel Perbandingan Tegangan dan Arus Saat Sistem Terpasang Arrester

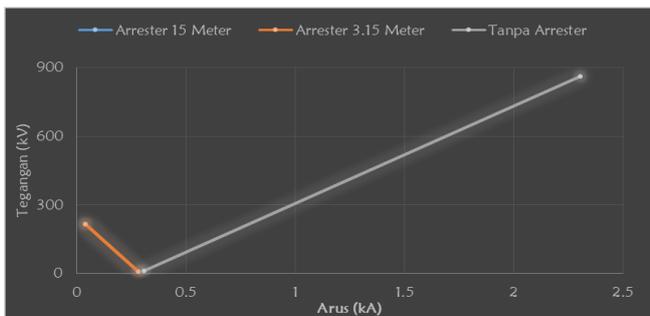
Berikut ini adalah tabel perbandingan besar arus dan tegangan terhadap waktu akibat sambaran petir (lightning surge) dari ketiga lokasi titik (node) saat sistem terpasang arrester.

Tabel 3. Perbandingan puncak tegangan dan arus saat sistem terpasang arrester

Nilai (Terhadap Waktu)	Tempat				
	Sambaran petir	Arrester - Trafo Primer		Beban (<i>load</i>)	
		3.15 m	15 m	3.15 m	15 m
Tegangan (kV)	779.27	255.43	255.48	8.9455	8.9455
Arus (A)	2729.8	37.734	37.734	283.11	283.12

5.4 Grafik Perbandingan Tegangan dan Arus

Berikut ini adalah grafik perbandingan tegangan dan arus terhadap waktu dititik beban dan jepitan transformator primer akibat sambaran petir dengan impuls tegangan 861.06 kV dan waktu muka petir 1.2454×10^{-3} ms pada Gardu Induk Bantul 150 kV dari skenario saat sistem tidak terpasang arrester, sistem terpasang arrester dengan jarak 3.15 meter dan 15 meter dari transformator.



Gambar 26. Grafik perbandingan tegangan dan arus

Berdasarkan grafik diatas nilai tegangan dan arus saat sistem tanpa pemasangan arrester dititik beban (*load*) adalah 11.573 kV; 0.30752 kA dan dititik jepitan (*bushing*) transformator primer adalah 861.06 kV; 2.3006 kA. Kemudian, nilai tegangan dan arus setelah sistem dipasang arrester dengan jarak 3.15 meter dititik beban dan jepitan transformator berturut-turut adalah (8.945 kV 0.283 kA) dan (215.43 kV 0.037 kA). Setelah jarak diubah menjadi 15 meter besar nilai tegangan dan arus dititik beban dan jepitan transformator berturut-turut adalah (8.945 kV 0.283 kA) dan (215.49 kV 0.037 kA). Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa jarak ideal minimal dan maksimal antara arrester dan transformator tenaga di Gardu Induk Bantul 150 kV adalah 3.15 meter dan 15 meter.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai tegangan lebih pada jepitan primer transformator saat waktu muka petir 1.2454×10^{-3} ms adalah 861.06 kV (untuk sistem tidak terpasang arrester), 215.48 kV (untuk sistem yang dipasang arrester dengan jarak 15 meter) dan 215.43 kV (untuk sistem yang dipasang arrester dengan jarak 3.15 meter).
2. Jarak ideal maksimal dan minimal antara arrester dan transformator di Gardu Induk Bantul 150 kV berdasarkan simulasi *software* ATP adalah sebesar 15 meter (data dilapangan) dan 3.15 meter (data analisis perhitungan IEC 1958 dan SPLN 1978:4). Oleh karena itu, jarak antara arrester dan transformator di Gardu Induk Bantul 150 kV saat ini sudah dapat dikatakan aman dan terlindung dari pengaruh sambaran petir (*lightning strike*)
3. Tegangan lebih pada waktu muka petir 0.012401 ms lebih besar dibandingkan nilai tegangan lebih pada saat waktu muka petir 0.03410 ms. Hal disebabkan karena semakin kecil waktu muka sambaran petir maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai puncak tegangan semakin cepat.
4. Nilai tegangan pada jepitan transformator primer di Gardu Induk Bantul 150 kV saat simulasi sambaran petir (*surge impulse*) menggunakan *software* ATP masih berada dibawah batas yang diizinkan (BIL) yaitu dibawah 215.43 kV ($5 \times$ tegangan sistem $>$), hal ini karena adanya pengaruh dari pemasangan arrester dengan jarak yang ideal dan sistem koordinasi peralatan proteksi lainnya yang terdapat pada setiap ujung saluran transmisi (*tower* dan *switchyard*).
5. Tegangan sambaran petir (*surge impulse*) yang diasumsikan pada simulasi *software* ATP Draw adalah 776 kV berdasarkan standar dari (*Insulation Withstand IEEE C62.11-2005*)

5.2 Saran

1. Diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan menjadi sistem koordinasi proteksi yang lebih kompleks (jaringan interkoneksi) mulai dari unit pembangkitan, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban (*load*).

2. Melakukan perbandingan hasil simulasi yang telah diperoleh dengan menggunakan *software* dan sistem koordinasi peralatan proteksi lainnya. Sehingga, dapat diperoleh hasil yang lebih akurat terhadap penentuan jarak ideal penempatan arrester terhadap peralatan yang dilindungi (transformator) pada sistem tenaga listrik akibat sambaran petir (*surge impulse*) dan hubung singkat (*switching*).

REFERENSI

- [1] Anonymous. (1984). “*Buku Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan Peralatan*”, Perusahaan Listrik Negara: Jakarta
- [2] Arismunandar, Artono. (1990). “*Teknik tegangan tinggi*” Jakarta: Pradnya Paramita
- [3] Gassing, “*Analisis Sistem Proteksi Petir (Lighting Performance) Pada Sutt 150 Kv Sistem Sulawesi Selatan*” Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar.
- [4] Hans, Tua M. Sinaga. (2011). “*Studi Analisis Gangguan Gardu Trafo Distribusi pada Saluran Distribusi 20 kV di PT. PLN Cabang Medan*” Universitas Sumatera Utara: Medan
- [5] Hutahuruk, TS, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Erlangga, Jakarta, 1989.
- [6] IEEE WG 3.4.11; *Modeling of Metal Oxide Surge Arresters*, IEEE Trans. on Pow. Delivery., 7(1), 1992, pp, 302-309.
- [7] IEEE Working Group 3.4.11, “*Modeling of Metal Oxide Surge Arrester*,” Transactions on Power Delivery, Vol. 7 No.1, pp 302-309, January 1992.
- [8] Kartiko, Bangkit Wahyudian, dkk. (2013). “*Studi Karakteristik Transien Lightning Arrester Pada Tegangan Menengah Berbasis Pengujian dan Simulasi*” Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS): Surabaya.
- [9] Nugroho, Sapto. 2005. *Analisis Pengaruh Tegangan Induksi Akibat Sambaran Petir Tak Langsung di Penyulang Badai 20 kV PLN Cabang Tanjung Karang Menggunakan Simulasi EMTP*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [10] Razevig, D.V. 1979. *High Voltage Engineering*. Delhi: Kahnna Publisher
- [11] SNI 04-0225-2000. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Jakarta: BSN
- [12] Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines*. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
- [13] Syahputra, R., (2016), “*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- [14] Syukur, Abdul. Agung Warsito. Liliyana Nilawati. 2009. *Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Menengah 20 KV*. Paper. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Semarang.
- [15] Violeta, Chis. Cristina, Bala. Mihaela, Daciana Craciun. *Simulation Of Lightning Overvoltages With ATP-EMTP And PSCAD/EMTDC*. Paper. Department Of Mathematics And Computer Science. University Of Arad.
- [16] Wardana, Azis Nurrochma, Arkhan Subari., (2014). “*Perbandingan Pengaruh Penempatan Arrester Sebelum Dan Sesudah Fco Sebagai Pengaman Transformator 3 Fasa Terhadap Gangguan Surja Petir Di Penyulang Pandean Lamper 5 Rayon Semarang Timur*”, Program Studi Diploma III Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang

BIOGRAFI



Muhammad Rizaldy lahir di Sumbawa pada tanggal 27 Juli 1995. Saat ini sedang menempuh pendidikan akhir di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan mengambil konsentrasi ketenagaan (*power*).