

Back Flash Over Sambaran Petir Di Jaringan Tegangan Menengah 20 Kv

Muhammad Gazali¹, Suyatno², Irwan Syarif³

^{1 2}Fakultas Teknik & Informatika, Universitas Patria Artha
muhammad.gazali@patria-artha.ac.id, firaysnawri88@gmail.com

Abstract

Penelitian bertujuan adalah mengukur Back Flash Over, tegangan impuls dan arus transien akibat sambaran petir pada jaringan tegangan menengah 20 KV. Dengan tahapan penelitian sebagai berikut: Tahap pengumpulan dasar teori yang menunjang penelitian. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding, dan artikel-artikel di internet, Tahap perhitungan yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penyelesaian dengan ATPDraw, dengan menggunakan parameter-parameter saluran yang diasumsikan ke dalam bentuk pemograman ATPDraw, dan Metode analisa data adalah dengan menggunakan data pada saluran gardu induk, Tahap Pengamatan hasil untuk analisis arus lebih maksimum pada saluran saat terjadi sambaran petir simulasi sistem yang dibuat berupa saluran transmisi tegangan tinggi yang diaplikasikan dalam software ATPDraw. Tahap Analisis Hasil sistem yang telah disimulasikan dengan ATPDraw akan dilakukan analisa sesuai dengan dasar teori yang ada dan tahapan terakhir penarikan jawaban dari permasalahan yang dianalisis. Berdasarkan Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai tegangan lebih yang terjadi pada JTM dipengaruhi oleh sambaran petir pada salah satu kawat fasa pada jaringan tegangan menengah. Nilai tegangan lebih yang terjadi yaitu sebesar 10,4 MV dan arus transien sebesar 400 A. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, nilai tegangan impuls dan arus transien paling besar terjadi ketika arus puncak dari sambaran adalah 60 kA sehingga dapat disimpulkan semakin besar arus puncak dari sambaran petir maka nilai dari tegangan lebih yang terjadi akan semakin besar.

Keyword : Back Flash Over, tegangan impuls dan arus transien

LATAR BELAKANG

Petir merupakan gejala alam yang tidak bisa dihilangkan atau dicegah. Kejadian petir dapat melibatkan arus yang sangat besar, dalam waktu yang sangat singkat namun bahaya yang ditimbulkannya dapat sangat besar. Peluahan muatan listrik antara awan dengan tanah terjadi karena adanya kuat medan listrik antara muatan di awan dengan muatan induksi di permukaan tanah. Semakin besar muatan yang terdapat di awan, semakin besar pula medan listrik yang terjadi. Apabila kuat medan ini melebihi kuat medan tembus udara, maka akan terjadi petir [1].

Petir akan menyambar pada objek yang tinggi seperti pohon, menara transmisi listrik, BTS (tower pemancar), gedung bertingkat, gedung pencakar langit, bahkan sebuah pohon pisang di tengah ladang luas

sekalipun akan beresiko tersambar petir [2]. Peluang sambaran petir tidak hanya disebabkan karena ketinggian objek yang tersambar. Tetapi juga dipengaruhi oleh area tempat objek tersebut dan iklim di daerah tersebut. Sebuah pohon pisang yang tingginya hanya 4 m bisa tersambar petir jika pohon tersebut berada di area terbuka seperti ladang/sawah. Bahkan banyak kejadian manusia yang tersambar di tempat-tempat terbuka seperti lapangan dan ladang/sawah.

Sambaran petir bisa merusakkan peralatan listrik dan elektronik di rumah tangga. Seperti televisi, radio, telepon rumah, komputer, dan sebagainya. Kerusakan tersebut dikarenakan adanya gelombang berjalan dengan amplitudo transien arus dan tegangan yang tinggi dari sambaran petir. Titik sambaran petir bisa dari berbagai titik kemungkinan. Bisa berupa

sambaran langsung maupun sambaran tak langsung.

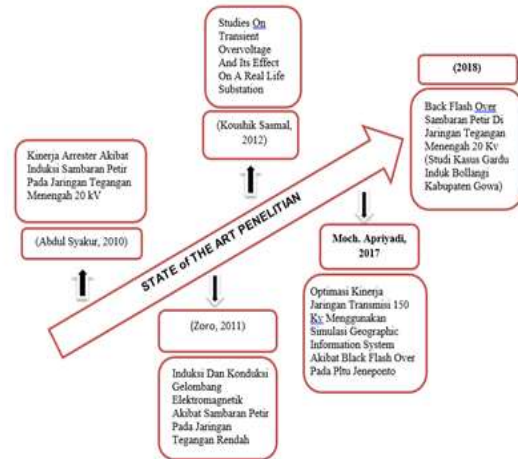
Dengan menggunakan teori simulasi software EMTP (Electro Magnetic Transient Program) akan didapatkan simulasi tegangan dan arus transien akibat induksi petir pada jaringan tegangan rendah. Oleh karena itu, penentuan nilai tegangan puncak induksi petir pada jaringan tegangan rendah bertujuan untuk meningkatkan upaya perlindungan peralatan rumah tangga terhadap adanya gangguan berupa tegangan lebih.

Ada beberapa permasalahan yang ditimbulkan oleh sambaran petir pada jaringan tegangan Menengah 20 kV yang berakibat pada jaringan kelistrikan secara keseluruhan hal ini dikarenakan adanya gelombang berjalan dengan amplitudo transien arus dan tegangan yang tinggi dari sambaran petir. Titik sambaran petir bisa dari berbagai titik kemungkinan. Bisa berupa sambaran langsung maupun sambaran tak langsung [3].

Dengan menggunakan teori simulasi software EMTP (Electro Magnetic Transient Program) akan didapatkan simulasi back flash over, tegangan dan arus transien akibat induksi petir pada jaringan Listrik. Oleh karena itu, penentuan nilai tegangan puncak induksi petir pada jaringan tegangan rendah bertujuan untuk meningkatkan upaya perlindungan peralatan kelistrikan terhadap adanya gangguan berupa tegangan lebih.

Penelitian bertujuan adalah mengukur Back Flash Over, tegangan impuls dan arus transien akibat sambaran petir pada jaringan tegangan menengah 20 KV. Dengan tahapan penelitian sebagai berikut: Tahap pengumpulan dasar teori yang menunjang penelitian. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding, dan artikel-artikel di internet, Tahap perhitungan yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penyelesaian dengan ATPDraw, dengan menggunakan parameter-parameter saluran yang diasumsikan ke dalam bentuk pemrograman ATPDraw, dan Metode analisa data adalah dengan menggunakan data pada saluran gardu induk, Tahap Pengamatan hasil untuk analisis arus lebih maksimum pada saluran saat terjadi sambaran petir simulasi sistem yang dibuat berupa saluran transmisi tegangan tinggi yang diaplikasikan dalam software ATPDraw. Tahap Analisis Hasil

sistem yang telah disimulasikan dengan ATPDraw akan dilakukan analisa sesuai dengan dasar teori yang ada dan tahapan terakhir penarikan jawaban dari permasalahan yang dianalisis.



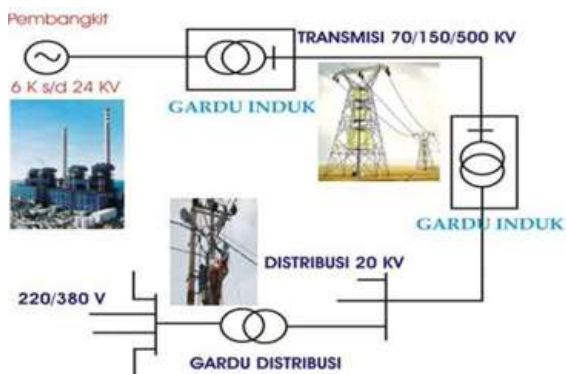
Gambar 1. State of The Art Penelitian

LANDASAN TEORI

A. Sistem Jaringan Tegangan Menengah

Sistem distribusi tenaga listrik adalah penyaluran energi listrik dari pembangkit tenaga listrik (power station) hingga sampai kepada konsumen (pemakai) pada tingkat tegangan yang diperlukan. Jaringan distribusi terdiri atas dua bagian, yang pertama adalah jaringan tegangan menengah/primer (JTM), yang menggunakan tiga kawat atau empat kawat untuk tiga fasa [4].

Jaringan distribusi primer berada antara gardu induk dan transformator distribusi. Jaringan yang kedua adalah jaringan tegangan rendah (JTR) dengan tegangan 380/220 Volt, dimana sebelumnya tegangan tersebut ditransformasikan oleh transformator distribusi dari 20 kV menjadi 380/220 Volt, jaringan ini dikenal pula dengan jaringan distribusi sekunder. Jaringan distribusi sekunder terletak antara transformator distribusi dan sambungan pelayanan (beban) menggunakan penghantar udara terbuka atau kabel dengan sistem tiga fasa empat kawat (tiga kawat fasa dan satu kawat netral). Dapat kita lihat gambar dibawah proses penyediaan tenaga listrik bagi para konsumen [5].



Gambar 2 Proses penyediaan Tenaga Listrik bagi para konsumen

Struktur Sistem Distribusi Tenaga

Lisrik meliputi:

1. Gardu Induk
2. Gardu Hubung (Switch Substation)
3. Gardu Distribusi
4. Feeder (Penyulang)

Gangguan pada peralatan ketenagalistrikan sudah menjadi bagian dari pengoperasian peralatan tenaga listrik. Mulai dari pembangkit, transmisi hingga pusat-pusat beban tidak pernah lepas dari berbagai macam gangguan. Bagian dari peralatan tenaga listrik yang sering mengalami gangguan adalah kawat (kira-kira 70-80% dari seluruh gangguan). Hal ini disebabkan luas dan panjang kawat yang terbentang dan yang beroperasi pada kondisi udara yang berbeda-beda dimana pada umumnya yang lewat udara (diatas tanah) lebih rentan terhadap gangguan dari pada yang ditaruh dalam tanah (underground). Akibat-akibat yang ditimbulkan oleh gangguan [6]:

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya kepada para konsumen apabila gangguan itu sampai menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau menyebabkan rusaknya suatu unit pembangkit.
2. Penurunan tegangan yang cukup besar menyebabkan rendahnya kualitas tenaga listrik dan merintanginya kerja normal pada peralatan konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator.
4. Merusak peralatan pada daerah terjadinya gangguan itu.

Adapun alat yang digunakan untuk mengatasi gangguan pada jaringan distribusi yaitu sebagai berikut:

1. Relay dan Proteksi
2. Pemutus Tenaga (PMT)
3. Relay Arus Lebih (OCR)

- a. Relay Waktu Seketika (Instantaneous relay)
- b. Relay arus lebih waktu tertentu (deafinite time relay)
- c. Pemutus Balik Otomatis (Recloser)
- d. Pelebur (fuse cut out)

B. Sambaran Petir

Perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara.

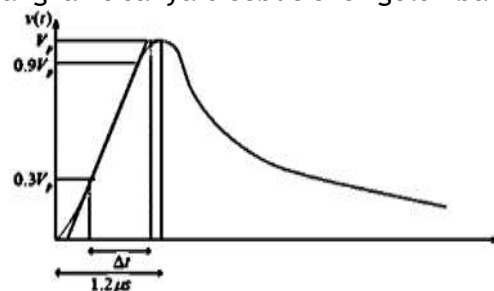
Bentuk gelombang surja petir dapat didefinisikan sebagai tegangan impuls yaitu, tegangan yang naik dalam waktu singkat sekali disusul dengan penurunan yang lambat menuju nol, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan [7]:

$$V = V_0(e^{-at} - e^{-bt})$$

dimana :

- V = tegangan osilasi
 V_0 = tegangan sistem
 a dan b = konstanta yang diperoleh dari rangkaian

Muka gelombang didefinisikan sebagai bagian dari gelombang yang dimulai dari titik nol nominal sampai ke titik puncak, sedangkan sisanya disebut ekor gelombang



Gambar 3 Bentuk Gelombang Surja Petir

Parameter Dan Karakteristik Gelombang Surja Petir

1. Arus Petir

Sambaran petir pada suatu objek di bumi yang diikuti oleh aliran arus petir yang tinggi dalam waktu singkat disebut arus impuls petir. Kerusakan yang dapat ditimbulkannya ditentukan oleh parameter tertentu yaitu [8]:

- a. Arus puncak impuls petir (i): yaitu harga maksimum dari impuls petir yang dapat menyebabkan tegangan lebih

pada tempat sambaran.

- b. Kecuraman arus petir (di/dt): yaitu laju kenaikan terhadap waktu yang dapat menyebabkan tegangan induksi elektromagnetik pada benda logam di dekat instalasi penangkal petir.
- c. Muatan listrik arus petir ($Q-J/dt$). yaitu jumlah muatan arus petir yang dapat menyebabkan peledakan pada ujung objek sambaran.
- d. Integral kuadrat arus impuls (J^2/dt): efek termal yang timbul sebesar $W=R \cdot j \cdot dt$ dapat menyebabkan panas yang berlebihan pada penghantar.

2. Kecepatan Pembangkitan

Karakteristik petir lainnya adalah waktu untuk mencapai harga puncak dan kecepatan pembangkitnya. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hubungan amplitudo arus petir, waktu pencapaian harga puncak dan kemungkinan terjadinya .

Tabel 1 Amplitudo Arus Petir dan Kemungkinan Terjadinya

| Arus Petir (kA) | % Terjadinya |
|-----------------|--------------|
| 20 | 45,52 |
| 40 | 30,48 |
| 60 | 15,51 |
| 80 | 5,35 |
| >100 | 2,14 |

Tabel 2 Waktu Pencapaian Harga Puncak dan Kemungkinan

| Arus Petir (kA) | % Terjadinya |
|-----------------|--------------|
| 0,5 | 34,27 |
| 1 | 26,22 |
| 1,5 | 18,18 |
| 2 | 12,59 |
| >2,5 | 8,74 |

3. Tegangan Petir

Transien overvoltage yang disebabkan oleh petir digolongkan sebagai suatu gelombang berjalan yang secara matematis mempunyai persamaan [5].

$$e(t) = E \left([e^{-(a-1)t} - e^{-bt}] \right)$$

dengan ; E, a, b adalah konstanta

C. Sambaran Petir Pada Sistem Distribusi

Tegangan lebih yang sering menimbulkan gangguan dalam sistem tenaga listrik berasal dari dua sumber utama, yaitu tegangan lebih internal dan tegangan lebih eksternal. Sumber tegangan lebih internal meliputi operasi on/off swithing dan

gangguan tidak simetris terutama sistem yang netralnya tidak ditanahkan.

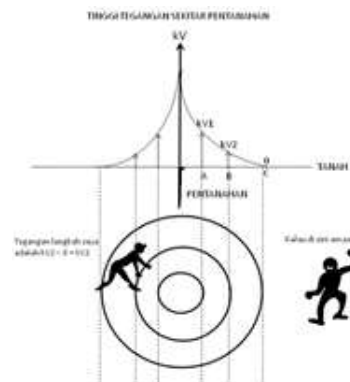
Tegangan lebih eksternal berasal dari gangguan yang terjadi di atmosfer. Penyebab utama tegangan lebih eksternal adalah sambaran petir. Surja petir merupakan faktor yang lebih dominan dalam menimbulkan tegangan lebih transien pada saluran tenaga listrik dengan tingkat tegangan di bawah 230 kV, dibandingkan dengan surja hubung. Sedangkan pada level tegangan 230 kV ke atas surja hubung merupakan faktor yang lebih dominan dalam menimbulkan tegangan lebih transien dibandingkan faktor surja petir Akibat Sambaran Langsung:

1. Tegangan Sentuh

Tegangan (contact voltage) ini timbul ketika seseorang memegang sebuah benda atau konduktor yang sedang dialiri arus sambaran petir dimana orang tersebut juga terhubung ke tanah.

2. Tegangan langkah

Ketika seseorang berdiri di atas permukaan tanah dan tiba-tiba dijarak tertentu ada sambaran petir ke tanah baik langsung maupun tak langsung maka akan ada beda potensial diantara kedua kakinya (step voltage).



Gambar 4 Tegangan Langkah: Distribusi Arus dan Jatuh Tegangan Di Tanah

3. Tegangan Pindah

Hal khusus dari sifat tegangan sebagai miniatur dari lompatan besar suatu petir disebut juga side flash yang disebut dengan tegangan lompat.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian di Sulawesi Selatan dengan studi kasus pada Gardu Induk Bollangi Kabupaten Gowa. Penelitian ini dilakukan

dengan mengumpulkan data aktual yang akan digunakan dalam analisis data dan membuat simulasi dari komputer. Dalam penelitian ini diadakan studi pustaka untuk memperoleh teori yang sesuai dengan judul penelitian dan merupakan landasan teori. Waktu penelitian yang dibutuhkan 6 (Enam) bulan termasuk waktu pengambilan data sampai pada pengolahan data.

Penelitian ini adalah penelitian deskriptif yang bertujuan untuk mengetahui keadaan pada saat terjadinya sambaran petir pada JTM 20 kV dengan menggunakan software ATPDraw. Adapun data data diperoleh dari PT. PLN (Persero), APD Sulsel dan GI Bollangi Gowa.

Metode Pengumpulan Data

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang menunjang dalam penulisan Tesis. Dasar teori ini dapat diambil dari buku-buku, jurnal, prosiding, dan artikel-artikel di internet.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

a. Metode perhitungan yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode penyelesaian dengan ATPDraw, dengan menggunakan parameter-parameter saluran yang diasumsikan ke dalam bentuk pemograman ATPDraw.

b. Metode analisa data adalah dengan menggunakan data pada saluran gardu induk dengan materi kajian terdiri dari:

- 1) Pembuatan model saluran menggunakan pemograman ATPDraw.
- 2) Penentuan nilai setiap parameter saluran sesuai dengan kondisi yang ada.
- 3) Penerapan pemodelan kedalam pemograman EMTP.

c. Pengamatan hasil untuk analisis arus lebih maksimum pada saluran saat terjadi sambaran petir. Simulasi sistem yang dibuat berupa saluran transmisi tegangan tinggi yang diaplikasikan dalam software ATPDraw.

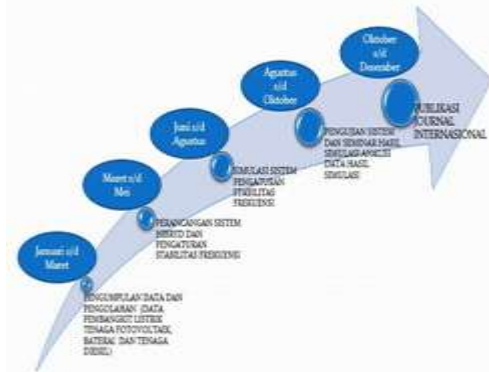
3. Analisa Hasil

Sistem yang telah disimulasikan dengan ATPDraw akan dilakukan analisa sesuai dengan dasar teori yang ada.

4. Penarikan Kesimpulan

Merupakan jawaban dari

permasalahan yang dianalisis. Selain itu juga akan di berikan saran sebagai masukan berkaitan dengan apa yang telah dilakukan.



Gambar 5. RoadMap Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Arus sambaran petir

Arus sambaran petir adalah arus gangguan yang disimulasikan yang diasumsikan sebesar 60 kA [20]

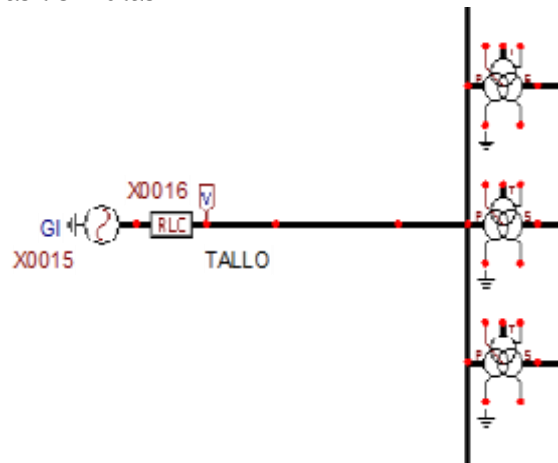
2. Arus transien

Arus transien adalah arus lebih yang terjadi dengan adanya gangguan sambaran petir pada JTM.

3. Tegangan Impuls

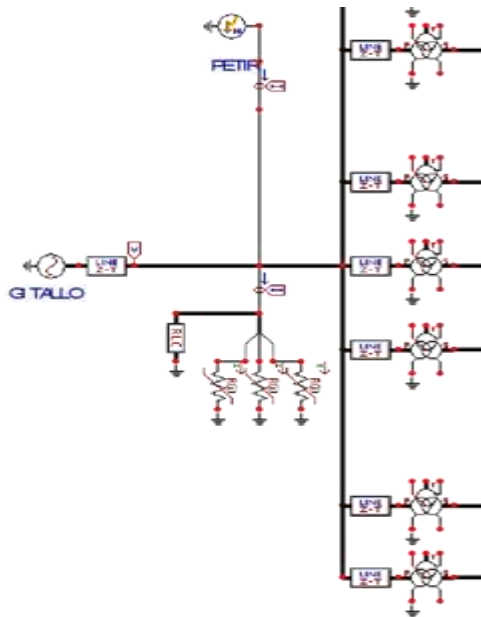
Tegangan Impuls adalah tegangan lebih yang terjadi dengan adanya gangguan sambaran petir pada JTM

Hasil Simulasi



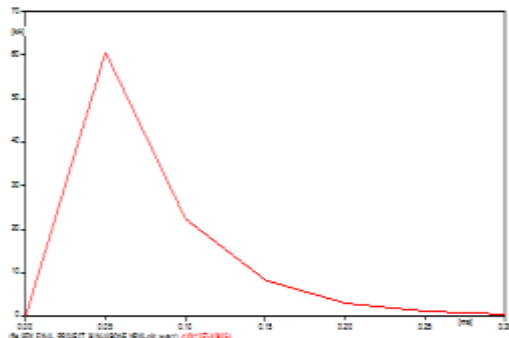
Gambar 6. Single Line Diagram Jaringan tegangan menengah 20 kV Keadaan Normal

Pada sistem ini, sumber tegangan JTM 20 kV disimulasikan menggunakan pembangkit yang terhubung dengan beberapa penyulang atau trafo distribusi.

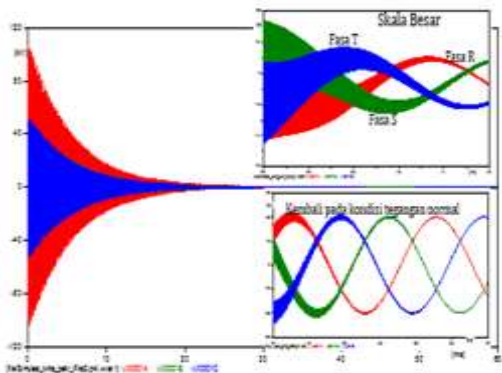


Gambar 7. Single Line Diagram Jaringan tegangan menengah 20 kV dengan gangguan sambaran petir dengan Arrester

Arus petir yang digunakan pada simulasi ini diasumsikan magnituden arus petir 60 kA sedangkan bentuk hasil simulasi gelombang waktu muka dan waktu ekor petir adalah 0,5 ms atau 1/50 μ s.



Gambar 8 Model dari Arus petir tipe Heidler pada JTM (GI Bollangi Gowa)



Gambar 9 Hasil simulasi tegangan sumber GI GI Bollangi Gowa pada saat terjadi sambaran petir

Pada hasil simulasi Gambar 8 menunjukkan bahwa tegangan pada model ATP tegangan sumber GI Bollangi Gowa pada saat sebelum terjadi sambaran petir dimana pada gelombang warna merah “fasa R” v:(X0016A) menunjukkan nilai tegangan normal yaitu sebesar 20 kV. Untuk gelombang warna hijau menunjukkan “fasa S” v:(X0016B) pada saat sebelum terjadi sambaran petir menunjukkan nilai tegangan normal yaitu sebesar 20 kV juga tidak mengalami perubahan. Sedangkan warna biru “fasa T” v:(X0016C) pada saat sebelum terjadi sambaran petir menunjukkan nilai tegangan normal yaitu sebesar 20 kV juga tidak mengalami perubahan.

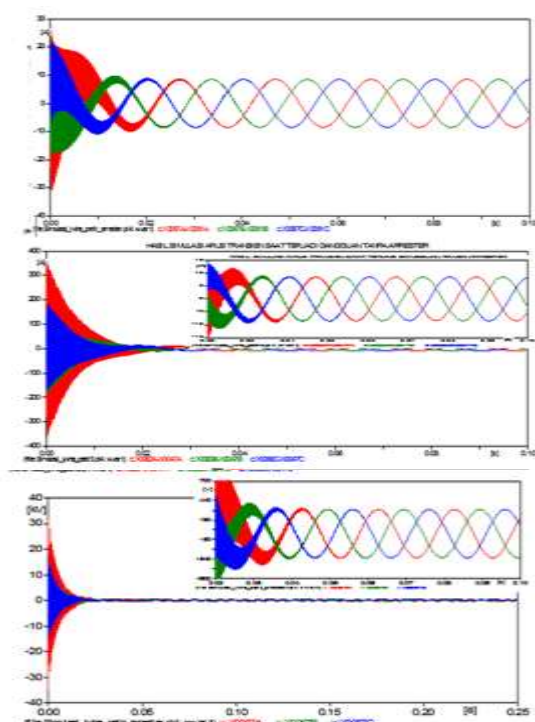
Sedangkan pada hasil simulasi Gambar 4.13 menunjukkan bahwa tegangan pada model ATP tegangan sumber GI GI Bollangi Gowa pada saat terjadi sambaran petir mengalami perubahan dimana pada gelombang warna merah “fasa R” v:(X0017A) tanpa arrester menunjukkan nilai tegangan impuls pada waktu muka sebesar 107 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,1$ ms sementara pada waktu peralihan tegangan impuls di fasa R yaitu sebesar 53 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,2$ ms sedangkan nilai tegangan impuls waktu ekor menurun menjadi 25 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,27$ ms, kemudian kembali normal dengan tegangan 20 kV pada waktu $T = 0,3$ ms.

Untuk gelombang warna hijau “fasa S” v:(X0017B) tanpa arrester menunjukkan nilai tegangan impuls pada waktu muka sebesar 55,8 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,1$ ms sementara pada waktu peralihan tegangan impuls di fasa S yaitu sebesar 30 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,2$ ms sedangkan nilai tegangan impuls waktu ekor menurun menjadi 20 kV pada waktu $T = 0,3$ ms.

Sedangkan gelombang warna biru “fasa T” v:(X0017C) tanpa arrester menunjukkan nilai tegangan impuls pada waktu muka sebesar 55.8 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,1$ ms sementara pada waktu peralihan tegangan impuls di fasa T yaitu sebesar 30 kV dan bentuk gelombang petir dalam waktu $T = 0,2$ ms sedangkan nilai tegangan impuls waktu ekor menurun menjadi 20 kV pada waktu $T = 0,3$ ms.

Tabel 3 Hasil simulasi tegangan pada saat sebelum dan setelah terjadi gangguan sambaran petir

| No. | Tegangan sebelum gangguan | Tegangan setelah gangguan | | |
|--------|---------------------------|---------------------------|----------------|----------------|
| | V | V_1 (0,1 ms) | V_2 (0,2 ms) | V_3 (0,3 ms) |
| Fasa R | 20 kV | 107 kV | 53 kV | 20 kV |
| Fasa S | 20 kV | 55,8 kV | 30 kV | 20 kV |
| Fasa T | 20 kV | 55,8 kV | 30 kV | 20 kV |



Gambar 10. Kondisi Arus transien di GI pada kondisi normal, tanpa arrester, dan menggunakan arrester

Nilai arus transien sebelum sambaran petir dan sudah terjadi sambaran petir di JTM. Dimana terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara sistem tanpa arrester yaitu waktu sambaran petir 0,00 sec / detik dengan nilai Arus transien sebesar 300 A pada waktu $T = 0,1$ ms kemudian normal di waktu 0,2 ms. Sedangkan dengan menggunakan arrester nilai Arus transien sebesar 25,5 A pada waktu $T = 0,1$ ms kemudian normal di waktu 0,3 s.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilaksanakan dapat ditarik kesimpulan Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan nilai tegangan lebih

yang besar terjadi pada fasa A line JTM adalah sebesar 60 kV saat terjadi sambaran petir. Arus puncak dari sambaran petir mempengaruhi tegangan lebih yang terjadi dengan nilai paling besar terjadi ketika arus puncak dari sambaran adalah 60 kA. Berdasarkan hasil simulasi pengaman JTM dari gangguan yang digunakan ada 3 pengaman yaitu Arrester, Over Current (OC) dan Ground Voltage. Jika terjadi sambaran petir di JTM maka pengaman yang beroperasi adalah Arrester yang bertujuan untuk mengalirkan arus transien menuju ke tanah dengan singkat.

REFERENSI

- [1] A. I. Salam, "Analisis Tahanan Pentanahan Kaki Tower SUTT 70 kV Rute Cigereleng-Majalaya," *PROtek*, vol. 6, no. 1, pp. 26-30, 2019.
- [2] M. A. H. Sirad, M. Rais, M. R. Djalal, and A. N. Putri, "Optimization of grounding resistance to minimize transient currents at 150 kV SULSELBAR system," in *2018 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2018*, 2018, vol. 2018-Janua.
- [3] W. A. Oktaviani and I. P. Hati, "Efektifitas Perlindungan Kawat Tanah Jaringan SUTM 20 kV Gardu Induk Boom Baru Palembang," *PROtek J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 90-95, 2019.
- [4] P. T. PLN, "Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik," *Jakarta PT. PLN*, 2010.
- [5] P. Sarajcev, "Monte Carlo method for estimating backflashover rates on high voltage transmission lines," *Electr. Power Syst. Res.*, 2015.
- [6] A. Mackow and M. Kizilcay, "Mitigation methods to improve the lightning performance of hybrid transmission line," in *19th Power Systems Computation Conference, PSCC 2016*, 2016.
- [7] Z. G. Datsios, P. N. Mikropoulos, and T. E. Tsovilis, "Estimation of the minimum shielding failure flashover current for first and subsequent lightning strokes to overhead transmission lines," *Electr. Power Syst. Res.*, 2014.

- [8] M. A. H. Sirad and S. Taha, "Optimasi Kinerja Jaringan Transmisi 150 Kv Menggunakan Simulasi Geographic Information System Akibat Back Flashover Pada Pltu Jenepono," *Patria Artha Technol. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 109-116, 2018.

Ucapan Terima Kasih, kami sampaikan kepada Kementerian Ristek Dikti atas bantuan hibah dana penelitian melalui LPPM Universitas Patria Artha.