

Analisa Surja Petir Menggunakan Elektromagnetik Transien Program Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi

Andi Junaidi¹; A. Agus Yogiarto²; Denny Setiawan³

^{1,2,3} Institut Teknologi PLN

¹ andi.junaidi@itpln.ac.id

² agus.yogiarto@itpln.ac.id

³ denny.setiawan@itpln.ac.id

ABSTRACT

Lightning is a natural event caused by the occurrence of electric charge jumps between clouds and the earth. Lightning causes wave propagation with high current and voltage transient amplitude. The overvoltage and overcurrent caused by lightning can not only threaten the safety of human life, but also disrupt electrical equipment and power systems. Lightning disturbances can arise from direct and indirect lightning strikes. Therefore we need a protection system that secures transmission lines, equipment, or humans from interference and lightning strikes. Lightning strikes that damage the insulator consist of 2 sources, the first; ie direct strike to the ground wire or tower. Lightning current will flow to the ground through the tower and back up with a high voltage and cause damage and rupture of the insulator, this phenomenon is called Back Flashover (BSF). The second is a direct strike to the phase wire, lightning current will flow along the phase wire as a traveling wave to the insulator and damage the insulator, this is called Shielding Failures (SF). These phenomena can be analyzed by simulation using an Electromagnetic Transient Program.

Keywords: lighting, Back Flasover, Shielding Failure, Isolator

ABSTRAK

Petir merupakan kejadian alam yang disebabkan oleh terjadinya loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Petir menimbulkan adanya rambatan gelombang dengan amplitudo transien arus dan tegangan tinggi. Tegangan dan arus lebih yang ditimbulkan oleh petir selain dapat mengancam keselamatan jiwa manusia, juga dapat mengganggu peralatan dan sistem tenaga listrik. Gangguan akibat petir dapat timbul dari sambaran petir langsung (direct strike) dan tidak langsung (indirect strike). Oleh karena itu diperlukan suatu sistem proteksi yang mengamankan saluran transmisi, peralatan, atau manusia dari gangguan dan sambaran petir. Sambaran petir yang merusak isolator terdiri dari dari 2 sumber, yang pertama; yakni sambaran langsung ke kawat tanah atau menara. Arus petir akan mengalir ke tanah melalui menara dan kembali ke atas dengan tegangan yang tinggi dan menyebabkan rusak dan pecahnya isolator, fenomena ini disebut Back Flashover (BSF). Yang kedua yakni sambaran langsung ke kawat Fasa, arus petir akan mengalir sepanjang kawat fasa sebagai gelombang berjalan ke isolator dan merusak isolator, ini disebut Shielding Failures (SF). Fenomena-fenomena tersebut bisa dianalisa dengan simulasi menggunakan Elektromagnetik Transient Program.

Kata kunci: Petir, Back flasover, Shielding failure, isolator

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia yang terletak di daerah khatulistiwa menyebabkan beriklim tropis yaitu iklim dengan keadaan suhu yang panas dan lembap yang tinggi. Indonesia juga adalah negara kepulauan yang dikelilingi oleh lautan yang luas, sehingga dengan lautan yang sangat luas tersebut akan menyebabkan terjadi penguapan atau jumlah uap air yang tinggi diakibatkan oleh pancaran sinar matahari sepanjang waktu. Hal tersebut berdampak dengan mudah terbentuknya awan di berbagai daerah Indonesia[1], [2].

Awan Cumulonimbus adalah jenis awan yang dihasilkan dari penguapan tinggi di permukaan bumi, dikarenakan banyak mengandung muatan positif dan negatif di dalam awan maka berpotensi terjadinya pelepasan muatan yang menembus udara dari awan menuju ke bumi yang disebut dengan petir[3][4]. Oleh karena itu fenomena petir banyak terjadi di Indonesia dan akibatnya memiliki jumlah sambaran petir yang sangat tinggi dibanding daerah lainnya. Sambaran petir yang sangat tinggi tersebut membuat Indonesia memiliki hari guruh yang cukup tinggi sekitar 100 – 200 hari per tahun berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)[5]. Dengan tingginya hari guruh di Indonesia maka wilayah Indonesia rentan terhadap sambaran petir yang mengakibatkan banyak terjadi bahaya kecelakaan atau kerusakan pada bangunan, peralatan, dan juga korban jiwa pada manusia[6].

Potensi sambaran petir lebih dominan menyambar bagian – bagian dengan struktur yang tinggi dan bahan dari struktur bangunan tersebut pada permukaan bumi, seperti gedung- gedung tinggi, menara transmisi tegangan tinggi dan tower Base Transceiver Station (BTS)[7]. Oleh karena itu untuk menghindari bahaya potensi sambaran petir yang dapat menimbulkan kerusakan jaringan saluran transmisi maka diperlukan suatu sistem proteksi untuk melindungi saluran transmisi tersebut agar energi listrik yang sangat besar dihasilkan oleh petir tidak langsung mengenai kawat konduktor (*shielding failure*)[8] yang mengakibatkan terganggunya sistem transmisi pada jaringan tetapi akan menyambar finial kemudian dihantarkan untuk dinetralkan ke bumi[7], [9].

Guna mengetahui dampak dari tidak dipasangnya proteksi petir pada saluran transmisi maka digunakanlah metode simulasi dengan menggunakan Electromagnetic Transient Program/Alternative Transient Program (EMTP/ATP). Metode ini ialah metode untuk mensimulasikan sambaran petir pada menara transmisi sehingga kita dapat memprediksi perlindungan pada pemasangan sistem proteksi petir agar dapat menentukan apakah terjadi flashover pada saluran transmisi pada saat terjadi sambaran petir. Selain itu juga dapat menentukan posisi dan jumlah proteksi petir khususnya transmision line arrester pada saat dipasang di menara transmisi. Agar sistem proteksi petir bekerja melindungi menara transmisi dengan baik maka dilakukan evaluasi terhadap sistem proteksi petir tersebut apakah dapat melindungi saluran transmisi itu sendiri, khususnya isolator dan saluran kawat fasa.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan mendapatkan data lapangan yang terpasang sehingga dapat dilakukan evaluasi koordinasi isolasi yang ada di lapangan sehingga dapat diberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas pelayanan listrik.

Pengkajiannya di tinjau dari aspek teknis maupun nonteknis. Dimulai dari penentuan lokasi, survey lapangan dengan pengukuran sampai pembuatan Analisa serta memberikan rekomendasi dengan tahapan berikut:

- a. Survey dilakukan untuk mendapatkan data teknis dan non teknis terpasang dilapangan sebagai dasar untuk melakukan evaluasi, Analisa dan memberikan rekomendasi untuk mengetahui koordinasi isolasi yang seharusnya di perlukan

- b. Analisa hasil survey: menganalisa hasil pengumpulan data;
- Melakukan simulasi dengan metode Elektromagnetik Transient Program untuk mengetahui besar tegangan yang timbul pada peralatan pada saluran transmisi akibat gelombang berjalan dari hantaran udara
 - Menganalisa pemasangan *Lightning Arrester* di saluran transmisi terhadap nilai *Basic Insulation Level* isolator

Metoda pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sistematika sebagai berikut:

Petir memiliki beberapa parameter sebagai sarana pengukuran kualitatif dan kuantitatif. Parameter parameter tersebut diantaranya adalah bentuk gelombang arus petir, arus puncak sambaran petir pertama dan susulannya, I (kA), kecuraman arus, dan tingkat kejadian sambaran petir / kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran per km² per tahun).

a) Bentuk Gelombang Petir

Terpa petir adalah bentuk gelombang petir sebagai fungsi waktu. Dimana petir mencapai amplitudo yang sangat tinggi (orde kilo) dalam waktu yang sangat singkat (orde mikro). Menurut standar IEC 60-2/273, terpa petir untuk tegangan adalah 1,2/50 μ s dan arus 8/20 μ s.

b) Arus Puncak Petir, I (kA)

Arus puncak petir – crest / peak current menurut Hileman adalah arus puncak dari sambaran balik (returns strokes). Arus puncak dibedakan atas polaritasnya, negative dan positif dan juga dibedakan dari sambaran pertama (first stroke) atau sambaran susulan (subsequent stroke).

c) Kecuraman Arus, di/dt (kA / μ s)

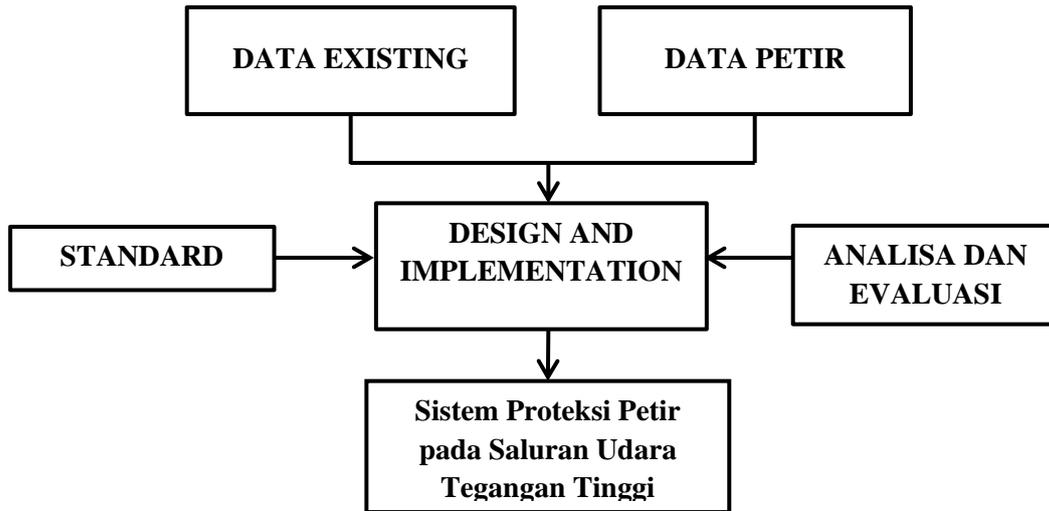
Kecuraman arus (rate of rise of current) menurut Hileman adalah laju perubahan arus terhadap waktu mencapai puncak. Biasanya didekati dengan perbandingan antara arus puncak dengan waktu mencapai arus puncak. Untuk Probability 50% (pemakaian engineering), maka: besar arus puncak petir di sub-tropis : 20 kA, tropis:40 kA dan kecuraman Arus petir sub-tropis (di/dt) : 18 kA/ μ s, tropis : 25-30 kA/ μ s

d) Muatan Arus, $Q = \int i \cdot dt$ (C)

Muatan arus merupakan luas dari terpa petir atau integral arus terhadap waktu. Muatan petir menentukan jumlah energi W yang terjadi pada titik sambaran dan titik lainnya dimana arus petir timbul dalam bentuk loncatan bunga api pada isolator. Dengan demikian, muatan petir bertanggung jawab pada kejadian seperti melelehnya ujung penangkal petir, ujung-ujung isolator batang atau lapisan aluminium pada badan pesawat terbang. Energi pada titik terjadinya bunga api merupakan perkalian antara anoda dan katoda dalam waktu yang sangat singkat (μ s), yaitu tegangan UA , (dalam orde beberapa puluh volt) yang bergantung pada besar dan bentuk gelombang arus

e) Integral Kuadrat Arus, $E = \int [i^2 dt]$

Integral kuadrat arus merupakan efek mekanik dan panas dari petir. Besaran $\int [i^2 dt]$ bertanggung jawab terhadap timbulnya pemanasan dan tekanan elektrodinamis pada konduktor yang dilalui arus petir.



Gambar 1. Metode Penelitian

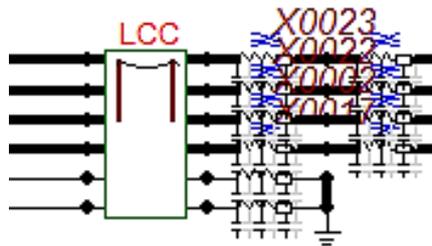
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Permodelan Sambaran Petir dan Gelombang Berjalan pada Hantaran Transmisi 500 kV dengan *Electromagnetic Transient Program*

Permodelan sambaran petir dan gelombang berjalan pada hantaran transmisi 500 kV dengan menggunakan *Alternative Transient Program* terdiri dari beberapa komponen, yaitu:

- a. Permodelan saluran transmisi 500 kV dengan menggunakan *Line Cable Constant or Cable Parameter (LCC)*

LCC (*Line Constant Cable*) merupakan pemodelan saluran transmisi udara yang dapat dipilih mulai dari 1-9 fasa. Ini akan menampilkan kawat fasa dan kawat tanah di udara. Jika menggunakan *single ground wire* dan *double circuit*, maka digunakan 7 fasa dalam LCC.



Gambar 2. Pemodelan *overheadline* pada ATPDraw

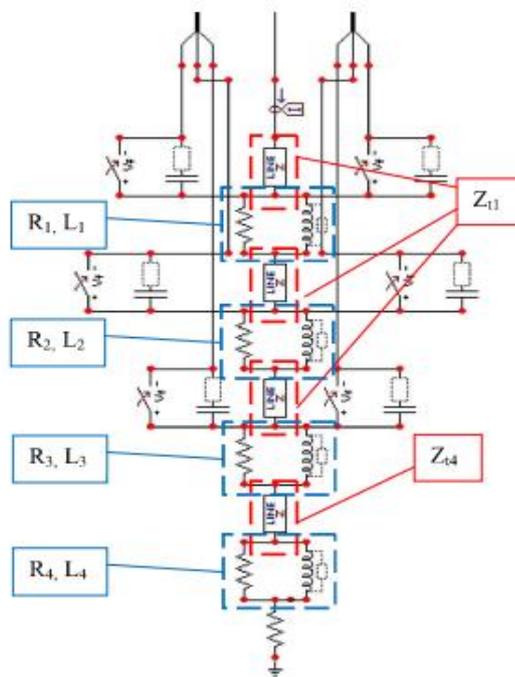
ATPDraw dengan menggunakan LCC dapat digunakan untuk permodelan elektrik: Bergeron (KCLee dan Clarke), PI-equivalent, Jmarti, Noda dan semlyen. Melalui sistem *type, user* dapat memilih antara *overhead line*, *single core cable* atau *enclosing pipe*. Pada gambar di bawah ini menunjukkan simbol dan *dialog box overhead line* 500 kV dengan LCC pada ATPDraw. JMarti digunakan dalam rentang frekuensi yang ditentukan dengan jumlah *decade* dari frekuensi inisial dan jumlah sampel poin per decade (*points/Dec*).

Model JMarti ini juga membutuhkan frekuensi yang digunakan dalam perhitungan transformasi matrix dan frekuensi steady-state untuk perhitungan kondisi steady state.

b. Permodelan Menara Transmisi 500 kV[8]

Untuk studi tegangan lebih transien ini, akan dimodelkan menara transmisi untuk 2 sirkuit dengan double kawat tanah dan 4 circuit dengan double kawat tanah. Kerangka menara akan dimodelkan dengan parameter terdistribusi, dengan impedansi menara sebagai berikut:

Z_{t1} = impedansi surja menara dari bagian paling atas menara (kawat tanah) menuju lengan menara paling atas (*upper arm*), kemudian dari lengan atas ke lengan tengah (*middle arm*) dan dari lengan tengah ke lengan paling bawah (*lower arm*). Z_{t4} = impedansi surja menara dari lengan paling bawah hingga kaki menara. Berdasarkan pembahasan menurut A ametani dan T. kawamura[10], sistem 500 kV memiliki nilai Z_{t1} =220 ohm dan nilai Z_{t4} =150 ohm.



Gambar 3. Permodelan menara transmisi 2 saluran dengan ATPDraw

c. Permodelan Tahanan Pentanahan

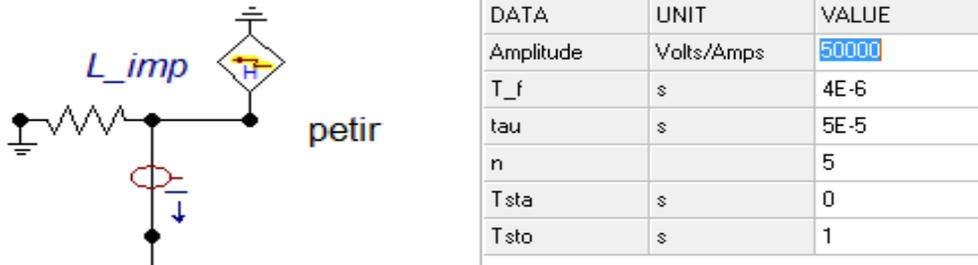
Nilai tipikal tahanan tanah pada menara adalah 10-100 ohm. Dalam simulasi ini ini menggunakan tahanan kaki menara sebesar 20 ohm seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. Permodelan tahanan kaki menara dengan nilai resistansi 20 ohm

d. Permodelan Sumber Surja

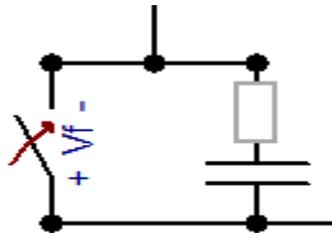
Untuk keperluan penelitian digunakan parameter arus, yaitu arus puncak probabilitas 50% (150%=40 kA), arus puncak probabilitas 80% (180%= 20 kA), arus kritis 30 keping isolator (13.53 kA) arus *shielding failure* menara (Isfm=7.2 kA).



Gambar 5. Permodelan dan dialog box sumber surja petir pada ATP

e. Insulator

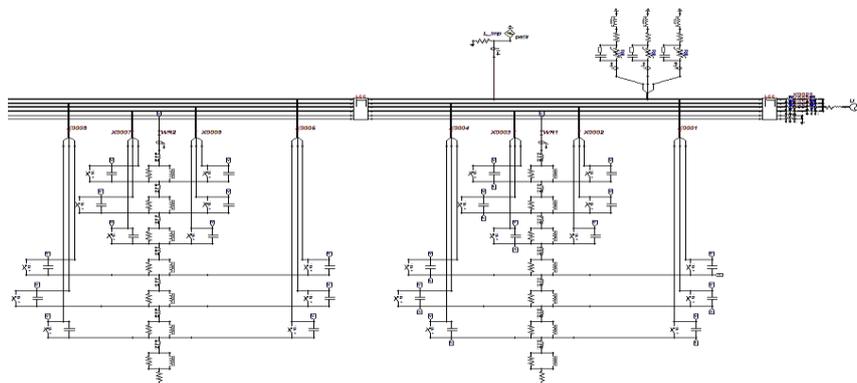
Insulator dalam pemodelan akan direpresentasikan dengan *switch flashover* berdasarkan tegangan yang terhubung paralel dengan kapasitor diantara konduktor fasa dan menara. Kapasitor ini akan mensimulasikan efek kopling antara konduktor dengan struktur menara. Kapasitansi tipikal untuk insulator gantung adalah 80pF/unit, sedangkan untuk insulator jepit kapasitansinya sekitar 100pF/unit. Jika 10 pin insulator, maka kapasitansi masing-masing string adalah 10pF/string. Nilai kapasitansi untuk non keramik insulator lebih kecil dibandingkan keramik insulator.



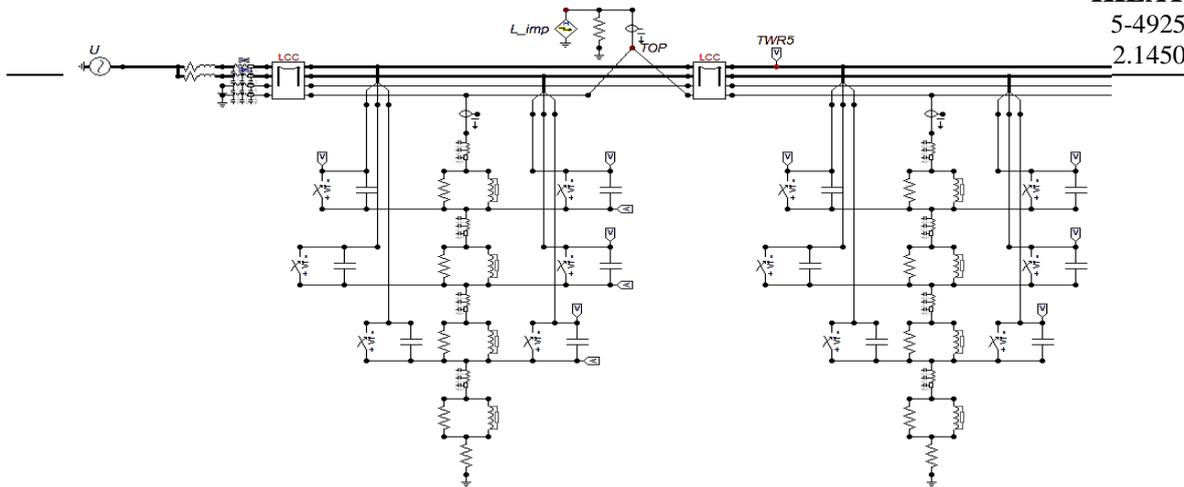
Gambar 6. Permodelan insulator dan flashover dengan switch

3.2. Sambaran Langsung pada Menara Transmisi Sistem 500 kV

Di bawah ini merupakan skema rangkaian pemodelan simulasi sambaran langsung pada menara pada sistem tegangan 500 kV :



Gambar 7. Skema pemodelan menara transmisi dan sambaran pada menara dengan 4 saluran dan 2 kawat tanah



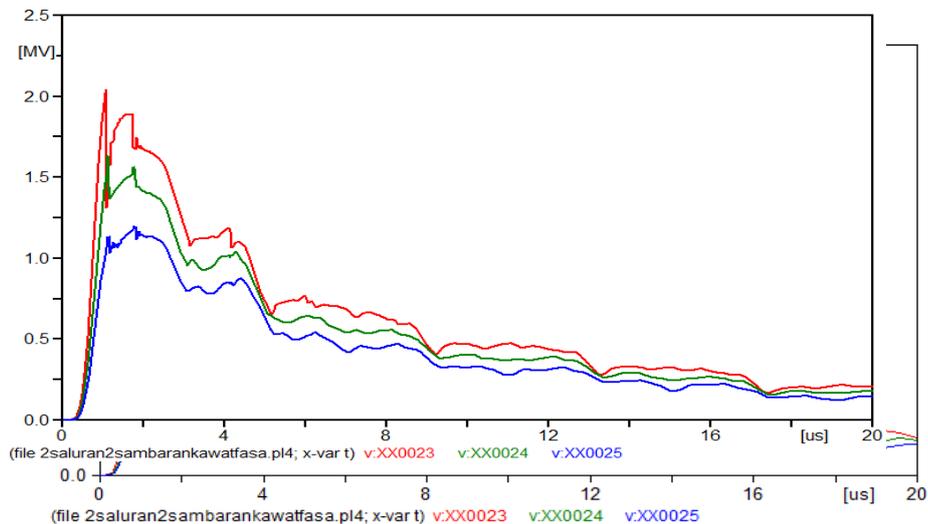
Gambar 8. Skema pemodelan menara transmisi dan sambaran pada menara dengan 2 saluran dan 2 kawat tanah.

Simulasi gelombang berjalan dengan EMTP yang diteliti meliputi simulasi sambaran ke menara transmisi dan simulasi *shielding failure* pada kawat fasa di menara transmisi dengan menggunakan parameter arus antara arus puncak probabilitas 50%, arus puncak dengan probabilitas 80% dan simulasi sambaran kawat fasa pada menara transmisi dan gardu induk dengan parameter *shielding failure*. Hasil simulasi menggunakan ATPDraw adalah sebagai berikut:

Gelombang $8/20\mu\text{s}$ dengan arus puncak petir 80% (20kA), 50% (40kA) untuk menara 108.545 meter 4 saluran dan menara 71.625 meter 2 saluran disimulasikan pada program EMTP/ATP berikut ini[8].

a. Hasil Simulasi Sambaran ke Kawat Tanah untuk menara dengan 2 saluran

Arus petir dengan probabilitas 80% dan 50% kejadian berturut-turut yaitu sebesar 20 kA dan 40 kA diinjeksikan ke kawat tanah untuk menara 4 saluran, bentuk arus petir adalah $8/20\mu\text{s}$. Bentuk dan amplitude arus petir seperti yang dideskripsikan ini dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10. Gambar 9 Tegangan pada isolator menara 2 saluran dengan arus petir 20 kA (Probabilitas 80%) 1.139 kV



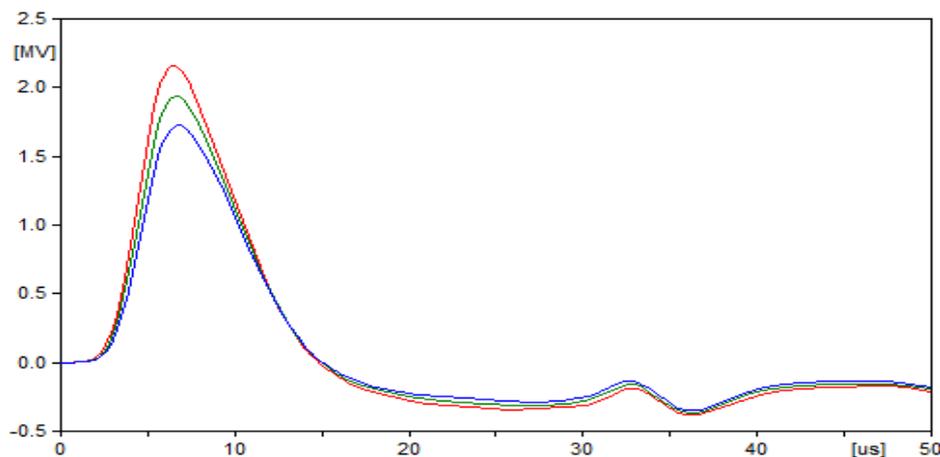
Gambar 9. Tegangan pada isolator menara 2 saluran dengan arus petir 40 kA (Probabilitas 50%) 2.041 kV

Hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa teratas (fasa R) selalu menunjukkan amplitudo tertinggi pada saat sambaran arus petir, diikuti fasa S dan T. Pada analisis ini digunakan resistansi pentanahan sebesar 20 ohm. Berdasarkan nilai tingkat isolasi dasar isolator menara yang ditentukan

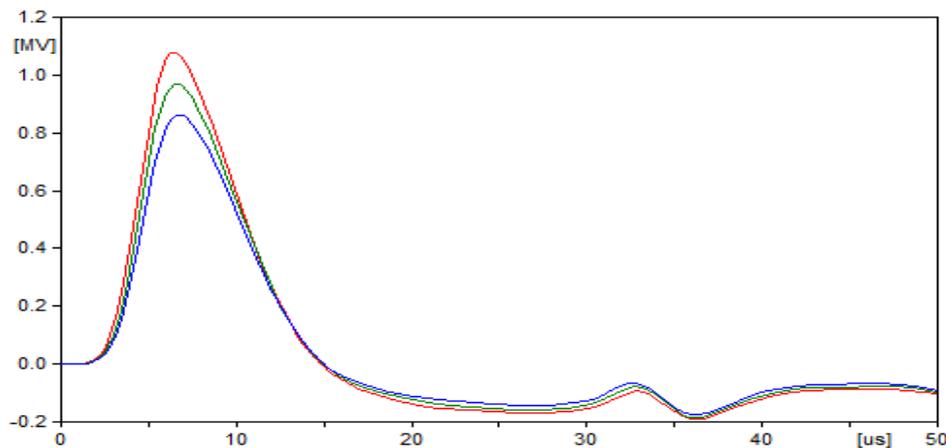
sebelumnya pada analisis ini, yaitu sebesar 2145 kV. Peristiwa lewat denyar balik / *backflashover* tidak akan terjadi pada seluruh keadaan di seluruh isolator tiap fasa.

b. Hasil Simulasi Sambaran ke Kawat Tanah Menara Transmisi 4 saluran

Arus petir dengan probabilitas 80% dan 50% kejadian berturut-turut yaitu sebesar 20 kA dan 40 kA diinjeksikan ke kawat tanah untuk model 2 saluran, bentuk arus petir adalah $8/20 \mu\text{s}$. Bentuk dan amplitudo arus petir seperti yang dideskripsikan ini dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 11



Gambar 10. Tegangan pada isolator menara 4 saluran dengan arus petir 40 kA (Probabilitas 50%) 2.154 kV

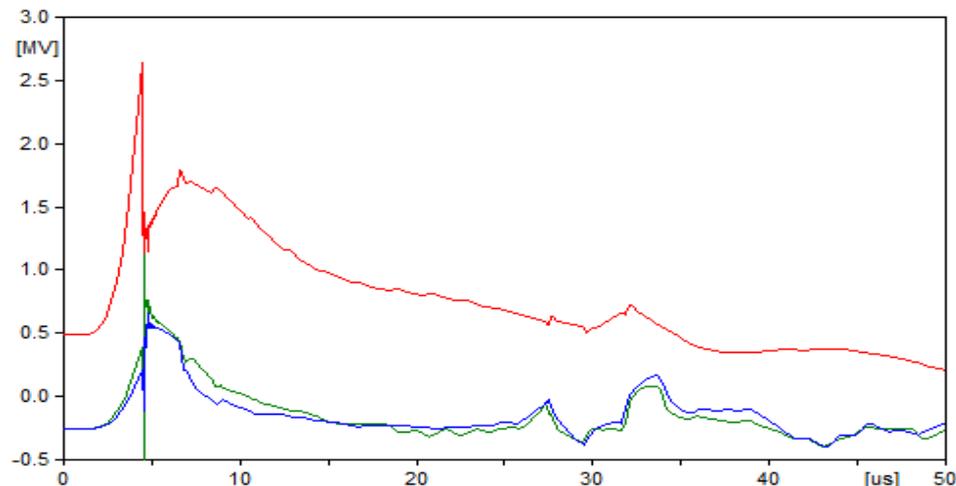


Gambar 11. Tegangan pada isolator menara 4 saluran dengan arus petir 20 kA (Probabilitas 80%) 1.078 kV

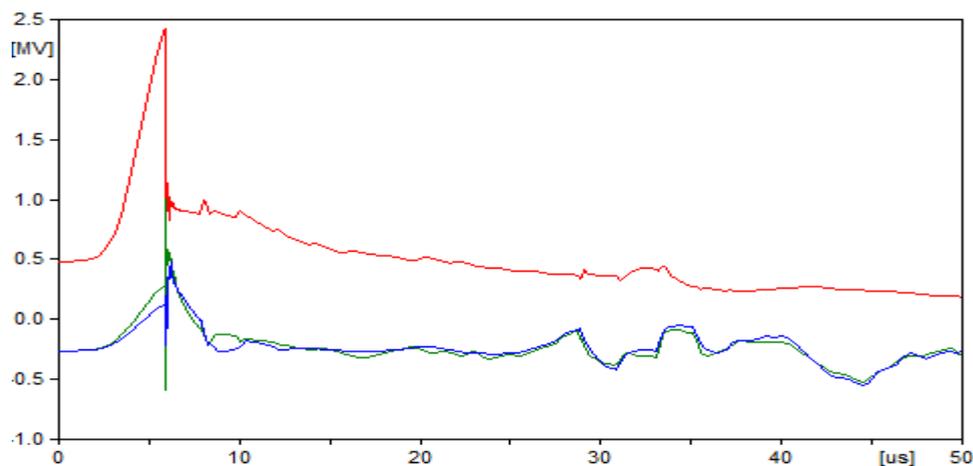
Hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa teratas (fasa R) selalu menunjukkan amplitudo tertinggi pada saat sambaran arus petir, diikuti fasa S dan T. Pada analisis ini digunakan resistansi pentanahan sebesar 20 ohm. Berdasarkan nilai tingkat isolasi dasar isolator menara yang ditentukan sebelumnya pada analisis ini, yaitu sebesar 2145 kV. Peristiwa lewat denyar balik / *backflashover* tidak akan terjadi pada seluruh keadaan di seluruh isolator tiap fasa.

c. Sambaran ke Kawat Fasa Menara Transmisi 4 Saluran

Arus petir dengan probabilitas 80% dan 50% kejadian berturut-turut yaitu sebesar 20 kA dan 40 kA diinjeksikan ke kawat fasa untuk model 4 saluran, bentuk arus petir adalah 8/20 μ s. Bentuk dan amplitudo arus petir seperti yang dideskripsikan ini dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 13.

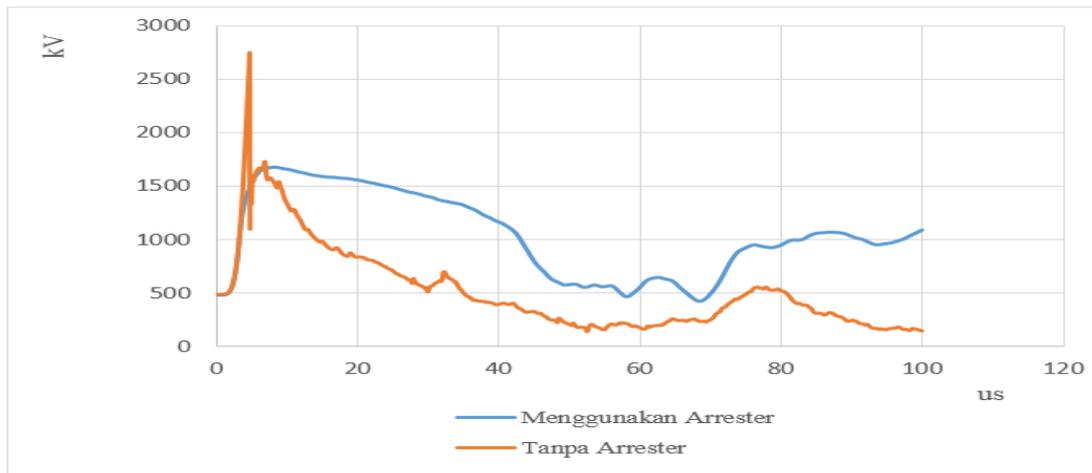


Gambar 12. Tegangan pada isolator menara 4 saluran dengan arus petir 40 kA (Probabilitas 50%) 2.605 kV



Gambar 13. Tegangan pada isolator menara 4 saluran dengan arus petir 20 kA (Probabilitas 80%) 2.419 kV

Hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa teratas (fasa R) selalu menunjukkan amplitudo tertinggi pada saat sambaran arus petir, diikuti fasa S dan T. Pada analisis ini digunakan resistansi pentanahan sebesar 20 ohm. Berdasarkan nilai tingkat isolasi dasar isolator menara yang ditentukan sebelumnya pada analisis ini, yaitu sebesar 2145 kV. Peristiwa lewat denyar balik / *backflashover* akan terjadi pada seluruh keadaan di isolator fasa R.

d. Tegangan pada saluran transmisi 500 kV 4 saluran ketika dipasang Arrester.

Gambar 14. Perbandingan paki arrester dan tanpa arrester pada transmisi 500 kV 4 saluran.

Pada pemasangan Arrester, ketika tegangan lebih mengalir pada konduktor dan berjalan sepanjang saluran maka dibuang oleh arrester ketika mencapai tegangan kerjanya dan ditanahkan. Arrester akan membuang energi dari petir ke tanah tanpa memungkinkan terjadinya arus ikutan pada frekuensi sistem. Sehingga gelombang arus yang mengalir akan terpotong dan menyebabkan stress tegangan pada isolator menurun. Pada gambar 14 diatas merupakan gambar tegangan lebih pada konduktor fasa yang terjadi akibat sambaran pada kawat fasa / shielding failure pada fasa S (fasa teratas) menara transmisi 500 kV 4 saluran.

Pada Gambar diatas menunjukkan bahwa dengan menggunakan arrester akan memotong tegangan lebih yang akan dirasakan isolator pada fasa teratas menara transmisi 4 saluran. Besar tegangan yang dipotong adalah sebesar 1100 kV, nilai ini masih dibawah BIL isolator menara sehingga masih aman bila dirasakan oleh isolator menara.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil evaluasi dan analisa data dapat disimpulkan beberapa hal yaitu dengan simulasi EMTP menggunakan parameter arus puncak petir maksimum yang diperbolehkan masuk kesistem, Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada transmisi belum telalu aman maka perlu dilakukan penambahan pemasangan transmission line arrester. Hasil simulasi EMTP dengan menambahkan transmisiion line arrester memberikan hasil yang menunjukkan bahwa untuk arus petir yang kesistem lebih landai karena arrester telah melakukan fungsinya sebagai pemotong arus puncak petir sehingga tidak terjadi flashover pada isolator menara transmisi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis Mengucapkan terimakasih kepada Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan atas terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Mejoyo and T. Kerawan, "Simple Additive Weighting (Saw) Di Wilayah Surabaya," vol. 06, 2017.
- [2] E. Aldrian, "Pola Hujan Rata-Rata Bulanan Wilayah Indonesia; Tinjauan Hasil Kontur Data Penakar Dengan Resolusi ECHAM T-42," J. Sains dan Teknol. Modif. Cuaca, vol. 1, no. 2, pp. 113–123, 2000.
- [3] P. Fisis and D. Awan, "Proses Fisis–Dinamis Awan dan Modifikasinya *)," pp. 1–13.
- [4] P. Chowdury, "Electromagnetic Transients In Power System." 1996.
- [5] A. Of et al., "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir Dengan Metode Simple Additive Weighting Di Provinsi Bali Analysis of the Level of Area Vulnerability To Lightning Strike Using Simple Additive Weighting in Bali Province," pp. 193–201, 2014.
- [6] E. SUSANTO, "Penentuan Daerah Rawan Bencana Sambaran Petir Di Wilayah Kabupaten Dan Kota Bandung Jawa Barat," J. Ilmu dan Inov. Fis., vol. 2, no. 2, pp. 137–144, 2018, doi: 10.24198/jiif.v2i2.19728.
- [7] J. A. I. Paski, Y. H. Permana, and yah A. S. Pertiwi, "Analisis Sebaran Petir Cloud To Ground (Cg) Di Wilayah Jabodetabek Pada Tahun 2016," vol. VI, pp. SNF2017-EPA-65-SNF2017-EPA-72, 2017, doi: 10.21009/03.snf2017.02.epa.10.
- [8] A. Junaidi and R. Zoro, "Lightning performance analysis of extra high voltage 500 Kv 2 circuits and 4 circuits in Sumatera," Int. Conf. High Volt. Eng. Power Syst. ICHVEPS 2017 - Proceeding, vol. 2017-January, no. 2, pp. 372–376, 2017, doi: 10.1109/ICHVEPS.2017.8225873.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, "Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung," Sist. Prot. petir pada bangunan gedung ICS, p. 112, 2004.
- [10] A. Ametani and T. Kawamura, "A method of a lightning surge analysis recommended in Japan using EMTP," IEEE Trans. Power Deliv., vol. 20, no. 2 I, pp. 867–875, 2005, doi: 10.1109/TPWRD.2004.839183.