

# PENGARUH TAHANAN KAKI MENARA TYPE GANTRY TERHADAP TERJADINYA BACK FLASHOVER PADA ISOLATOR SALURAN 115 kV PT.CHEVRON PACIFIC INDONESIA

Jefri Manik\*, Edy Ervianto\*\*, Nurhalim\*\*

\*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau, \*\* Dosen Teknik Elektro Universitas Riau  
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Email: manikjefri@gmail.com

## ABSTRACT

*This study describes analysis of tower footing resistance effected backflash voltage across a transmission line 115 kV insulator at PT. Chevron Pacific Indonesia. Back flashover analysis on insulator string provides ATP software for simulation. Analysis process is done by the entire transmission line parameter model such as a tower, lightning impulse, power line conductor and tower footing resistance. The factor of this study includes, front time of lightning stroke, and tower resistance. Simulations is done with lightning strike on the tower and mid-span with four types of impulse. To analysis of tower footing resistance effected back flashover across a transmission system insulator, Simulations are done by varying the tower footing resistance from  $1\Omega$  -  $30\Omega$ . Over Voltage on insulator for every tower footing resistance will be compare to critical flashover insulator (CFO) in order to obtain the maximum resistance is allowed to avoid the back flashover on insulator.*

*Keyword: Tower fottng resistance, Back flashover, ATP, Insulator*

## 1. Pendahuluan

Studi tentang perilaku gangguan tegangan lebih merupakan hal yang sangat penting, hal ini dibutuhkan dalam merancang isolasi sistem tenaga listrik yang salah satunya adalah isolator pada saluran transmisi. Pada umumnya penentuan sebuah isolasi didasari dari probabilitas kejadian suatu peristiwa.

Salah satu penyumbang terbesar gangguan tegangan lebih pada saluran transmisi adalah gangguan petir, ada tiga jenis gangguan yang sering terjadi yaitu: gangguan akibat sambaran pada kawat fasa, sambaran pada kawat tanah atau menara dan induksi. Dari ketiga gangguan di atas, gangguan yang paling sering terjadi adalah sambaran pada kawat tanah atau menara.

Ketika terjadi sambaran langsung pada tiang maupun kawat tanah maka akan mengakibatkan terjadinya kenaikan tegangan pada tiang. Jika tegangan yang timbul pada isolator sama atau melebihi garis *Critical Flashover Voltage* (CFO), maka sambaran balik dari tiang ke kawat fasa akan terjadi (Andrew R. Hileman, 1999) dikenal sebagai *back flashover*. Salah satu parameter yang sangat mempengaruhi kenaikan tegangan pada isolator adalah tahanan kaki menara. Untuk menentukan tingkat proteksi, diperlu-

kan kajian yang lebih spesifik agar didapatkan batas tahanan kaki menara maksimum untuk menghindari terjadi fenomena sambaran balik dari tower ke kawat fasa.

Analisa fenomena *Back flashover* pada isolator akibat sambaran petir memerlukan perhitungan yang cukup kompleks, Untuk itu diperlukan alat bantu atau Perangkat lunak yang dapat mempermudah proses perhitungan. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan dalam proses analisa fenomena *Back flashover* adalah ATP (*Alternative Transient Program*).

Dengan simulasi perangkat lunak ATP (*Alternative Transient Program*) akan didapatkan besarnya tegangan lebih akibat sambaran petir pada saluran transmisi tegangan tinggi. Oleh karena itu, penentuan batas nilai pentanahan menara pada saluran transmisi tegangan tinggi bertujuan untuk meningkatkan upaya perlindungan saluran transmisi terhadap adanya gangguan berupa sambaran petir.

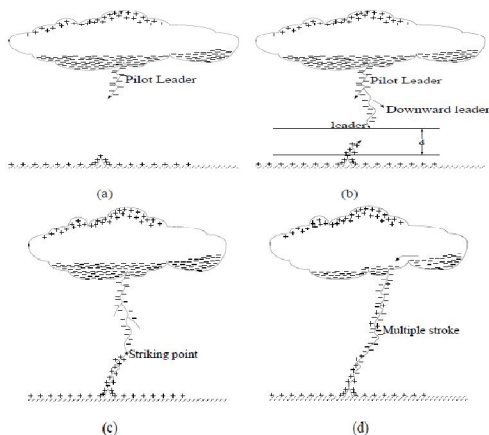
## 2. Landasan teori

### 2.1. Petir

Petir adalah mekanisme pelepasan muatan listrik di udara yang dapat terjadi di dalam awan, antara awan, awan dengan udara, dan antara awan dengan tanah. Antara awan dan permukaan bumi dapat dianalogikan seperti kapasitor raksasa, dimana lempeng pertama adalah awan dan lempeng kedua adalah bumi.

Proses terjadinya muatan pada awan adalah akibat adanya pergerakan awan secara teratur dan terus menerus. Dan selama pergerakannya, awan akan terpolarisasi sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi, sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Biasanya muatan negatif berada di bagian bawah awan dan muatan positif berada di bagian atas.

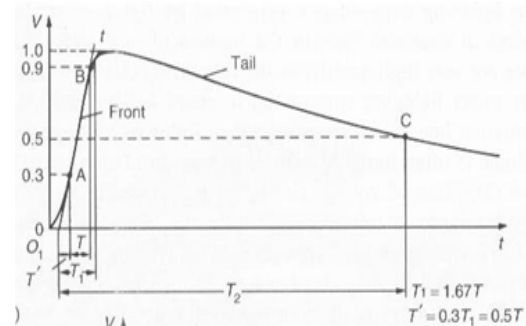
Muatan listrik pada awan ini mengakibatkan adanya beda potensial antara awan dengan bumi, sehingga timbul medan listrik antara awan dengan bumi. Jika medan listrik lebih besar daripada kekuatan dielektrik udara yang mengantarai bumi dengan awan, maka akan terjadi pelepasan muatan.



Gambar 2.1. Mekanisme Terjadinya Petir (Khalil Denno, 1992)

### 2.2. Bentuk dan Spesifikasi Gelombang

Bentuk gelombang impuls petir standar menurut IEC adalah  $1,2/50 \mu s$ . Standar-standar Jerman dan Inggris menetapkan  $1/50 \mu s$ . Amerika Serikat mempunyai standar  $1,5/40 \mu s$ . Jepang memiliki standar  $1/40 \mu s$ . (Kuffel, 2000)



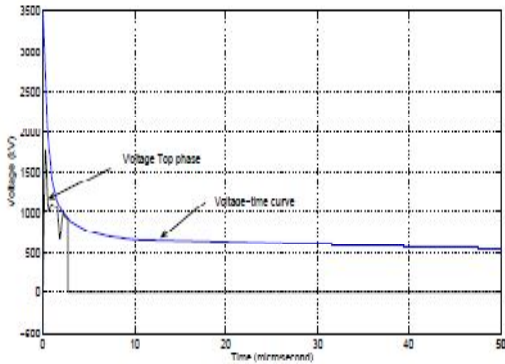
Gambar 2.2. Bentuk Umum dan Definisi Dari Tegangan Surja Petir. (Kuffel, 2000)

### 2.3. Masalah Yang Ditimbulkan Oleh Petir Dalam Sistem Tenaga Listrik

1. Induksi
2. Sambaran langsung pada tiang dan kawat tanah, Sambaran langsung pada tiang atau pada kawat tanah akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan pada tiang, timbulnya tegangan pada tiang ini akan menimbulkan naiknya beda potensial diantara tiang dan kawat fasa (tegangan yang membebani isolator). Kejadian ini dapat menimbulkan terjadinya lompatan api balik dari tiang ke kawat fasa, atau biasanya disebut *back flashover*.
3. Sambaran langsung pada kawat fasa

### 2.4. Back Flashover

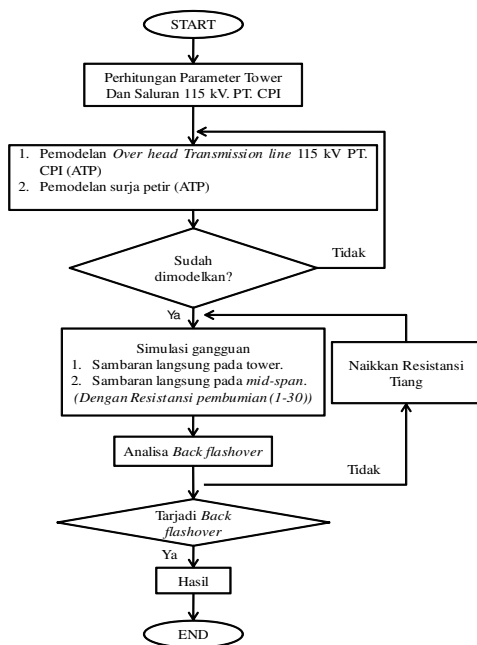
*Back flashover* merupakan fenomena terjadinya sambaran balik dari tiang ke kawat fasa ketika tiang atau kawat tanah disambar petir. Saat tegangan yang timbul pada isolator melebihi rating tegangan *back flashover* isolator tersebut maka lompatan balik dari tiang akan terjadi. Gambar 2.3 merupakan mekanisme terjadinya *back flashover* pada isolator.



Gambar 2.3. Mekanisme Terjadinya *Back Flashover* (P. Yadee, dkk. 2007)

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian



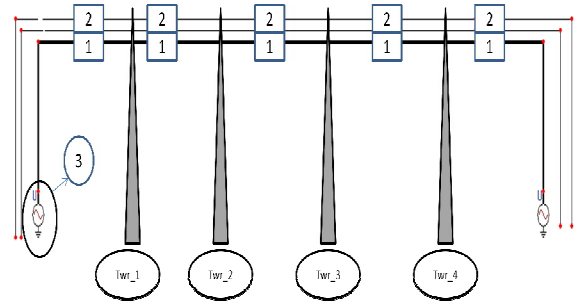
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

#### 3.2. Pemodelan saluran transmisi 115kV PT. Chevron Pacific Indonesia

##### 3.2.1. Pemodelan kawat transmisi dan model tiang

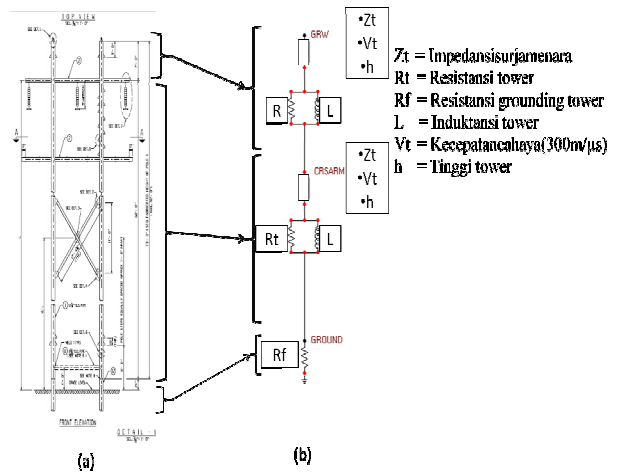
Kawat Penghantar Saluran 115 kV PT. CPI Terdiri dari tiga kawat fasa dan dua kawat tanah.

Kawat fasa pada saluran 115 kV pada penelitian ini memiliki ketinggian 18.58 m. sedangkan kawat tanahnya memiliki ketinggian 22.25 m. dengan jarak antara tiang sebesar 400 m.

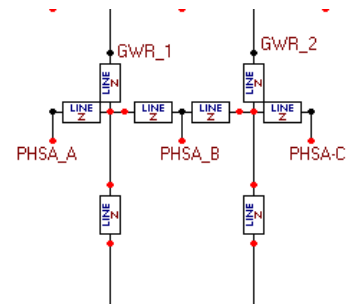


Gambar 3.2. Modal Saluran Dengan Empat Tiang

##### 3.2.2. Model tiang transmisi



Gambar 3.3. (a). Tiang Transmisi 115 kV PT. CPI, (b). Model Tiang Transmisi 115 kV PT. CPI

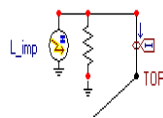


Gambar 3.4. Model Tiang Transmisi 115kV Dalam ATP

### 3.2.3. Model sumber impuls petir

Pada penelitian ini sumber impuls petir yang dipilih adalah tipe heidler, sumber impuls petir tipe heidler dapat digunakan sebagai sumber arus dan tegangan tergantung kebutuhan. Dalam topik ini model heidler digunakan sebagai sumber arus petir, sumber impuls ini diparalelkan dengan sebuah tahanan sebesar  $400\Omega$  (L.V. Bewley).

Model sumber impuls petir yang digunakan dapat dilihat pada Gambar di bawah ini,



Gambar 3.5. Sumber Petir Tipe Heidler

### 3.2.4. Model tahanan tiang

Tahanan tiang dimodelkan dengan menggunakan resistansi.



Gambar 3.6. Model Tahanan Tiang

### 3.2.5. Model back flashover isolator

Dalam penelitian ini Isolator dimodelkan dengan menggunakan *switch voltage control*.



Gambar 3.7. Model String Isolator

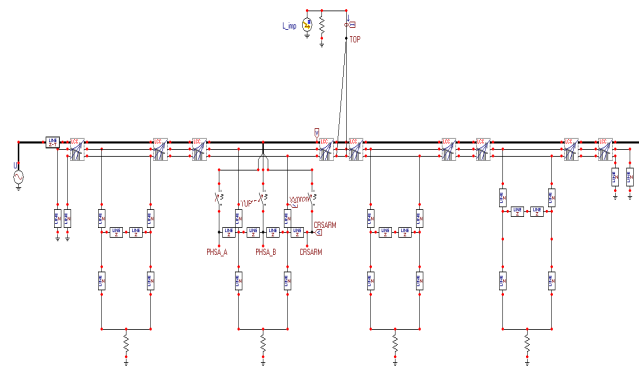
$$V_{fo} = K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}}$$

Dimana :

- $V_{fo}$  = Tegangan *flashover*
- $K_1$  =  $400 \times L$
- $K_2$  =  $710 \times L$
- $L$  = Panjang *suspension* isolator (meter).
- $t$  = *elapsed time after lightning stroke*,  $\mu s$

### 3.2.6. Model saluran transmisi 115 kV PT. CPI

Gambar di bawah ini merupakan hasil pemodelan saluran transmisi 115 kV sepanjang 1.8 km dengan 4 tiang, dimana jarak span adalah 400 m



Gambar 3.8. Model Saluran transmisi 115 kV PT. CPI

### 3.3. Metode Analisa Back Flashover

Berikut merupakan tahapan proses analisa *back flashover* pada isolator:

1. Melakukan simulasi sambaran pada tiang dan *mid-span* dengan 4 jenis impuls petir
2. Mengukur besar tegangan pada isolator untuk setiap besar tahanan kaki menara ( $1 \Omega - 30 \Omega$ )
3. Membandingkan besar tegangan yang timbul perda isolator 115 kV terhadap batas tegangan *back flashover* isolator.

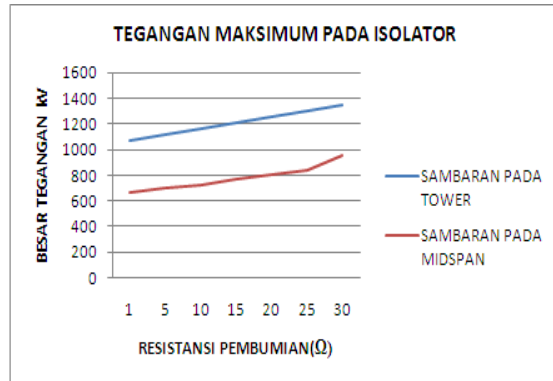
## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Simulasi Sambaran Langsing Pada Tiang Dan Mid-Span

#### 4.1.1. Simulasi Sambaran dengan Model Impuls petir 46.5 kA 1/40 $\mu s$

Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan petir dengan arus puncak 46.5 kA, dengan model waktu muka gelombang  $1 \mu s$  dan ekor  $40 \mu s$ , pada puncak tiang dan *mid span*.

Gambar di bawah ini merupakan hasil tegangan maksimum untuk sambaran pada tiang dan *mid-span*.

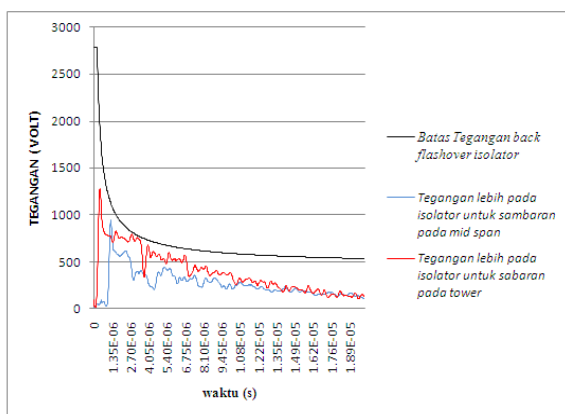


**Gambar 4.1.** Hasil Simulasi Sambaran Pada Tiang dan *Mid-Span*.

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tahanan kaki menara sangat mempengaruhi besar kenaikan tegangan pada isolator.

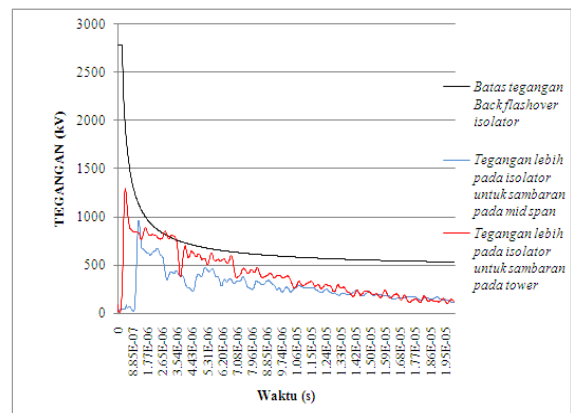
#### 4.1.1.1. Analisa *back flashover*

Untuk menentukan tahanan maksimum untuk menghindari *back flashover*, Gambar di bawah ini merupakan hasil simulasi sambaran pada tiang dan groudwire untuk tahanan kaki menara 20 Ω dan 21 Ω.



**Gambar 4.2.** Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 20 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1/40 μs

Dari gambar di atas terlihat tegangan lebih akibat sambaran pada tiang dan *midspan* berada di bawah batas tegangan *back flashover* isolator. Dengan demikian bila terjadi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan tiang  $\leq 20 \Omega$  belum menimbulkan terjadinya *back flashover*.

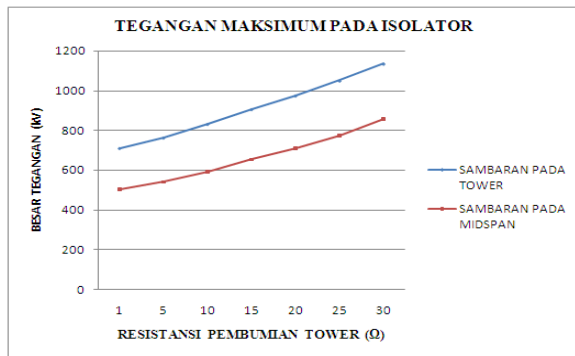


**Gambar 4.3.** Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 21 Ω dan Impuls petir 46.5 kA 1/40 μs

Gambar di atas merupakan hasil simulasi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan pembumian tiang sebesar 21 ohm. Untuk sambaran pada tiang terlihat bahwa tegangan lebih yang timbul pada isolator telah melewati batas tegangan maksimum *back flashover* isolator (826kV), dimana *back flashover* terjadi pada rentang waktu 2.73 μs hingga 2.91 μs setelah terjadi sambaran, dengan tegangan lebih pada isolator sebesar 833 kV. Sedangkan untuk sambaran petir pada *mid-span* tegangan lebih pada isolator masih berada dibawah rentang aman isolator.

#### 4.1.2. Simulasi Sambaran Petir dengan Impuls petir 46.5 kA, 1.5/40 μs

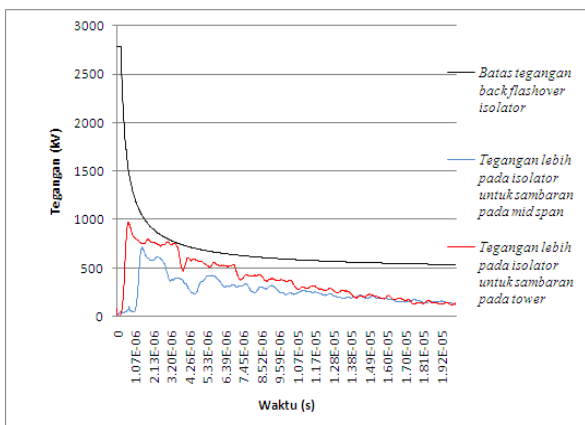
Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan petir dengan arus puncak 46.5 kA, dengan model waktu muka gelombang 1.5 μs dan ekor 40 μs, pada puncak tiang dan *mid span*.



**Gambar 4.4.** Pengaruh Tahanan Kaki Menara Terhadap Kenaikan Tegangan Pada Isolator 115 kV

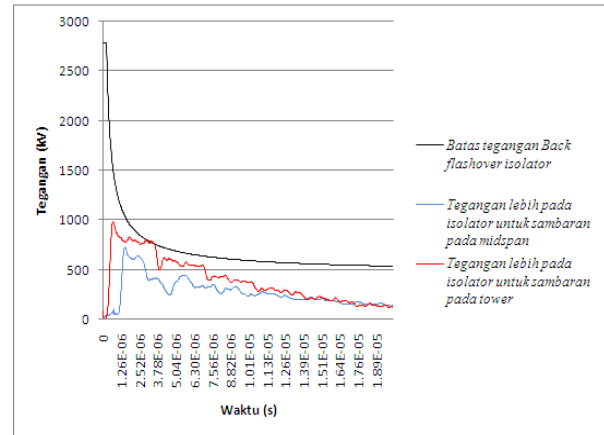
Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tahanan kaki menara sangat mempengaruhi besar kenaikan tegangan pada isolator.

#### 4.1.2.1. Analisa *back flashover*



**Gambar 4.5.** Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 20 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1.5/40 μs

Dari gambar di atas terlihat tegangan lebih akibat sambaran pada tiang dan *midspan* berada pada batas tegangan *back flashover* isolator. Dengan demikian bila terjadi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan tiang  $\leq 20 \Omega$  belum menimbulkan terjadinya *back flashover*.



**Gambar 4.6.** Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 21 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1.5/40 μs

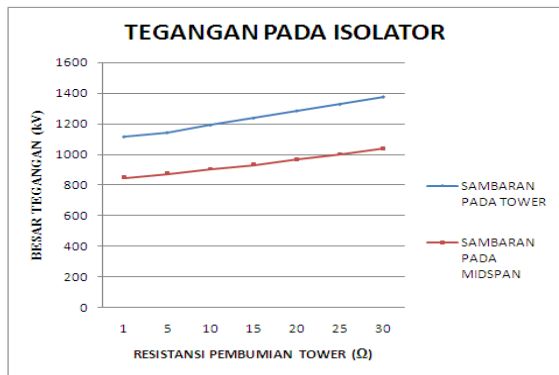
Gambar di atas merupakan tegangan terukur untuk fasa A hasil simulasi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan pembumihan tiang sebesar 21 ohm. Dari hasil simulasi terlihat bahwa: Tegangan lebih yang timbul pada isolator akibat sambaran langsung petir 46.5 kA 1/40 μs pada tiang telah melewati batas tegangan maksimum *back flashover* isolator (801.7 kV). Dimana *back flashover* terjadi pada rentang waktu 2.99 μs hingga 3.05 μs setelah terjadi sambaran dengan tegangan lebih pada isolator sebesar 803 kV. Sedangkan untuk sambaran petir pada *mid-span*, tegangan lebih terukur pada isolator masih berada dibawah rentang aman isolator.

#### 4.1.3. Simulasi sambaran petir dengan model impuls petir 46.5 kA 1/50 μs

Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan petir dengan arus puncak 46.5 kA, dengan model waktu muka gelombang 1 μs dan ekor 50 μs, pada puncak tiang dan *mid span*.

Gambar 4.7 merupakan hasil pengukuran tegangan maksimum untuk setiap tahanan kaki menara.



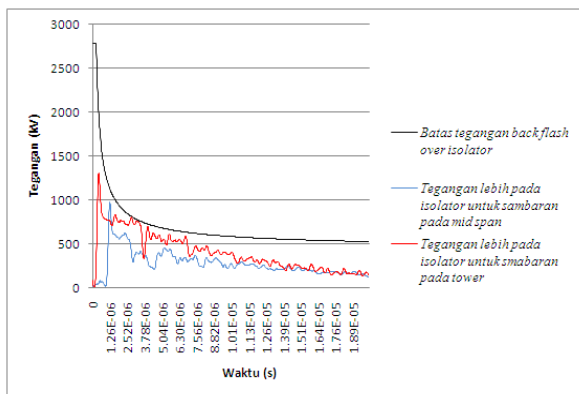


**Gambar 4.7. Pengaruh Tahanan Kaki Menara Terhadap Kenaikan Tegangan Pada Isolator 115 kV**

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tahanan kaki menara sangat mempengaruhi besar kenaikan tegangan pada isolator.

#### 4.1.3.1. Analisa *back flashover*

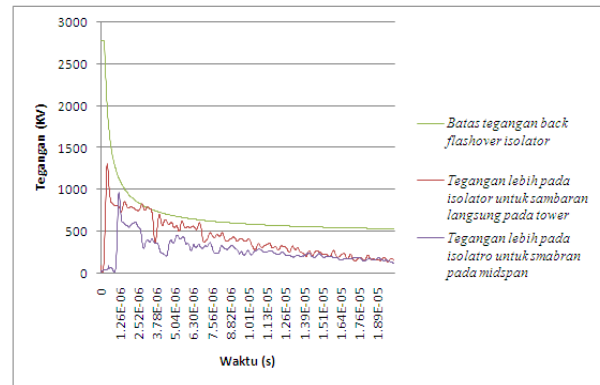
Untuk menentukan tahanan maksimum untuk menghindari *back flashover*, Gambar di bawah ini merupakan hasil simulasi sambaran pada tiang dan groundwire untuk tahanan kaki menara 20 Ω dan 21 Ω.



**Gambar 4.8. Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 20 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1/50 μs**

Dari gambar di atas terlihat tegangan lebih akibat sambaran pada tiang dan *midspan* berada pada batas tegangan *back flashover* isolator. Dengan demikian bila terjadi sambaran langsung pada tiang dan

*mid-span* dengan tahanan tiang  $\leq 20 \Omega$  belum menimbulkan terjadinya *back flashover*



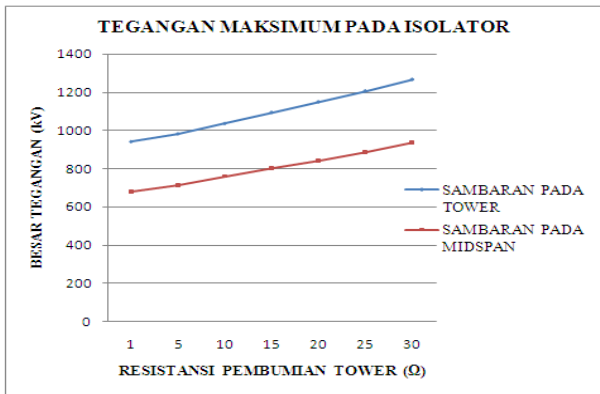
**Gambar 4.9. Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan *Mid-Span* Dengan Tahanan Tiang 21 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1/50 μs**

Gambar di atas merupakan tegangan lebih te-rukur untuk fasa A saat terjadi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan pembumihan tiang sebesar 21 ohm. Dari hasil simulasi terlihat bahwa: Tegangan lebih yang timbul pada isolator akibat sambaran langsung petir 46.5 kA 1/50 μs pada tiang dengan tahanan kaki menara 21 Ω telah melewati batas tegangan maksimum *back flashover* isolator (826 kV), dimana *back flashover* terjadi pada rentang waktu 2.76 μs hingga 2.85 μs setelah terjadi sambaran dengan tegangan lebih sebesar 827 kV. Sedangkan untuk sambaran petir pada *mid-span*, Tegangan lebih pada isolator masih berada dibawah rentang aman isolator.

#### 4.1.4. Simulasi sambaran petir dengan Model Impuls Petir 46.5 kA, 1.2/50 μs

Simulasi dilakukan dengan menginjeksikan petir dengan arus puncak 46.5 kA, dengan model waktu muka gelombang 1.2 μs dan ekor 50 μs, pada puncak tiang dan *mid span*.

Gambar 4.10 merupakan hasil pengukuran tegangan maksimum untuk setiap tahanan kaki menara.

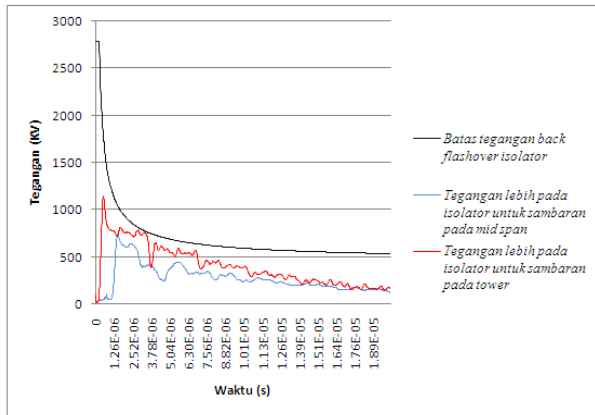


**Gambar 4.10. Pengaruh Besar Tahanan Kaki Menara Terhadap Kenaikan Tegangan Pada Isolator 115 kV**

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa tahanan kaki menara sangat mempengaruhi besar kenaikan tegangan pada isolator.

#### 4.1.4.1. Analisa *back flashover*

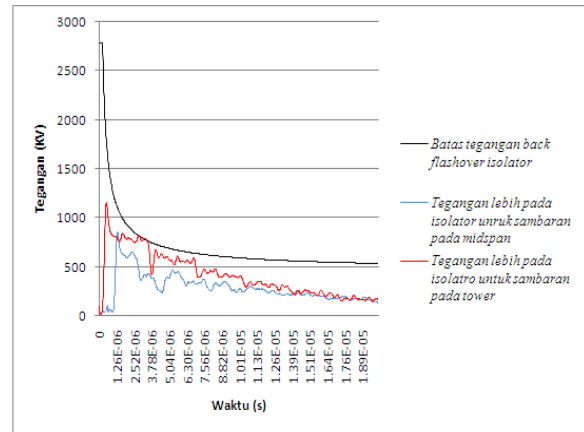
Untuk menentukan tahanan maksimum untuk menghindari *back flashover*, gambar di bawah ini merupakan hasil simulasi sambaran pada tiang dan groundwire untuk tahanan kaki menara 20 Ω dan 21 Ω.



**Gambar 4.11. Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan Mid-Span Dengan Tahanan Tiang 20 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1.2/50 μs**

Dari gambar di atas terlihat tegangan lebih akibat sambaran pada tiang dan *midspan* berada pada batas tegangan *back flashover* isolator. Dengan de-

mikian bila terjadi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan tiang  $\leq 20 \Omega$  belum menimbulkan terjadinya *back flashover*



**Gambar 4.12. Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Sambaran Langsung Pada Tiang dan Mid-Span Dengan Tahanan Tiang 21 Ω dan Impuls Petir 46.5 kA 1.2/50 μs**

Gambar di atas merupakan tegangan lebih terukur untuk fasa A saat terjadi sambaran langsung pada tiang dan *mid-span* dengan tahanan pembumihan tiang sebesar 21 ohm. Dari hasil simulasi terlihat bahwa: Tegangan lebih yang timbul pada isolator akibat sambaran langsung petir 46.5 kA 1/50 μs pada tiang dengan tahanan kaki menara 21 Ω telah melewati batas tegangan maksimum *back flashover* isolator (784.23 kV), dimana *back flashover* terjadi pada rentang waktu 3.2 μs hingga 3.44 μs setelah terjadi sambaran dengan tegangan lebih sebesar 784.57 kV. Sedangkan untuk sambaran petir pada *mid-span* tegangan lebih pada isolator masih berada dibawah rentang aman isolator.

#### 4.2. Rekomendasi Tahanan tiang untuk menghindari terjadinya *back flashover* pada isolator 115 kV PT. Chevron Pacific Indonesia

Dari seluruh simulasi dan analisa untuk setiap tahanan kaki menara yang dilakukan tabel 4.1 merupakan rangkuman kondisi *back flashover* untuk setiap tahanan dan jenis gelombang impuls petir.



**Tabel 4.1. Tegangan Lebih Pada Isolator Untuk Empat Jenis Gelombang Petir.**

Tahanan Tiang	<i>Over voltage back flashover</i>			
	45.6 kA			
	1/40 $\mu$ s	1.5/40 $\mu$ s	1/50 $\mu$ s	1.2/50 $\mu$ s
1	X	X	X	X
5	X	X	X	X
10	X	X	X	X
15	X	X	X	X
20	X	X	X	X
21	√	√	√	√
25	√	√	√	√
30	√	√	√	√

X : Tidak terjadi *back flashover*  
 √ : Terjadi *back flashover*

**Tabel 4.2. Rekomendasi Tahanan Menara Untuk Menghindari Back Flashover**

Model impuls petir	Tahanan kaki menara yang dianjurkan	Status
1/40 $\mu$ s	$\leq 20(\Omega)$	direkomendasikan
1.5/40 $\mu$ s	$\leq 20(\Omega)$	direkomendasikan
1/50 $\mu$ s	$\leq 20(\Omega)$	direkomendasikan
1.2/50 $\mu$ s	$\leq 20(\Omega)$	direkomendasikan

Dari hasil analisa yang dilakukan untuk setiap jenis petir, tahanan menara maksimum yang diijinkan adalah  $\leq 20\Omega$ .

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa yang dilakukan :

1. Kenaikan tegangan pada isolator sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai tahanan kaki menara, dimana kenaikan tegangan pada isolator untuk sambaran langsung pada tiang 115 kV PT. Chevron Pacific Indonesia adalah 11.89 kV/ $\Omega$ , dan 9.7 kV/ $\Omega$  untuk sambaran pada *mid span*
2. Kenaikan tegangan pada isolator sangat dipengaruhi oleh karakteristik gelombang petir, dimana semakin curam gelombang petir ma-

ka kenaikan tegangan semakin besar. Hal ini Terlihat dari kenaikan tegangan tertinggi pada isolator disebabkan oleh impuls petir dengan model 1/50  $\mu$ s.

3. Semakin dekat titik sambaran terhadap isolator maka tegangan yang dirasakan pada isolator semakin besar, sebaliknya semakin jauh titik sambaran maka semakin kecil tegangan yang ditimbulkan. Berikut merupakan selisih tegangan berdasarkan jenis gelombang impuls: 1/ 40  $\mu$ s = 432kV, 1.5/ 40  $\mu$ s = 247 kV, 1/ 50  $\mu$ s = 303 kV, 1.2/ 40  $\mu$ s = 294 kV.
4. Tahanan maksimum yang diijinkan untuk sambaran pada tiang dengan impuls petir agar tidak menimbulkan *back flashover* adalah 20  $\Omega$ .

## PUSTAKA

1. A. R. Hileman, 1989. *Insulation Coordination for Power Systems*, Marcel Dekker, New York, USA,
2. Akihiro, AMETANI. 2010. *Lightning Surge Analysis by EMT and Numerical Electromagnetic Analysis Method*, International Conference on Lightning Protection - ICLP 2010, Cagliari Italy,
3. Arismunandar, Artono., & Kuhara, S. 2004. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: PT Pradnya Paramita
4. B. Marungsri.dkk, 2009. *Study of Tiang Grounding Resistance Effected Back Flashover to 500 kV Transmission Line in Thailand by using ATP/EMTP*, International Journal of Electrical and Electronics Engineering 3:10
5. Dasman, 2008. *Pengaruh Tahanan Kaki Menara Saluran Transmisi 150 kV Terhadap Tegangan Lebih Transient Akibat Surja Petir Dengan Menggunakan Elektromagnetic Transients Program (Emtp) (GiKilirianjao - GiMuaroBungo)*, jurnalskipsi, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang,
6. Dennokhalil, 1992. *High voltage engineering in power system*, new jersey institute of technology new jersey,
7. Fri murdiya. 2011. *Diktat kuliah Gejala Medan Tinggi*. Pekanbaru: Teknik Elektro UR.
8. Hutaaruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Bandung: Erlangga.
9. IEEE Working Group on Lightning Performance of Transmission Lines., 1997. "IEEE Guide for Improving The lightning Performance of Transmission Lines," IEEE Standard 1243

10. Jaipradidtham, C. 2005, 2-5 June. “ *Electromagnetic Field Analysis on Surge Response of 500 kV EHV Single Circuit Transmission Tiang in Lightning Protection System using Neural Networks*”, Proc. of Int. Conf. on Control, Automation and System, KINTEX, Gyeonggi-Do, Korea
11. KresimirFekete.dkk., “*Simulation of Lightning Transients on 110 kV overhead-cable transmission line using ATP-EMTP*”, Power System Department, Faculty of Electrical Engineering Osijek K. Trpimira 2B, 31000 Osijek, Croatia
12. Kuffel, E. 2000.”*High Voltage Fundamental (2<sup>nd</sup> edition)*”, Newnes, Great Britain
13. L. V. Bewley, 1963 ‘*Traveling Waves on Transmission Systems*’, Dover (N.Y.)
14. Sadiq, Muhammad. July 2012. “*Analysis Of Back-Flashover Rate For 132kv Overhead Transmission Lines*” *Bachelor Of Electrical Engineering*”, Universitas Teknologi Malaysia.
15. Ossama e. fouda, dkk. December 19-21, 2010. Proceedings of the 14th International Middle East Power Systems Conference (MEPCON’10). “*Parameters Affecting the Back Flashover across the Overhead Transmission Line Insulator Caused by Lightning*”. Cairo University, Egypt, Paper ID 11
16. P. Yadee ,dkk.2007, June 4-7. “*Analysis of Tiang Footing Resistance Effected Back Flashover Across Insulator in a Transmission System*”, France
17. Syamsir Abduh, dkk. *Analisis Gangguan Petir Akibat Sambaran Langsung Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 kV*, Universitas Trisakti.
18. Zoro, Reynaldo. 1999. “*Karakteristik Petir dan Kondisi Cuaca di Daerah Tropis – Kasus Gunung Tangkuban Perahu*”, Disertasi Doktor, ITB, Bandung.
19. <http://studentsrepo.um.edu.my/3590/5/chapter1-chapter6.pdf>
20. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/35660/3/Chapter%20II.pdf>