

# Analisa Sambaran Petir Terhadap Kinerja Arrester pada Transformator Daya 150 kV Menggunakan Program ATP

Cecillia Stevanny\*, Fri Murdiya \*\*

\*Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Email: stevannycecillia@gmail.com

## ABSTRACT

*This study shows the effect of a lightning strike on the performance of lightning arresters at 150 kV power transformers. In the lightning strike case, there are several parameters that may affect to the arresters performance indicator, i.e the current charge and current quadratic integral. The analysis process is conducted by parameters modelling of transmission line and substation. The simulations are done by providing direct strike to the ground wire of 10 MV with a varies of the wave front time (Tf) and the duration of the strike (tau) of lightning impulse. To calculate the current charge and current quadratic integral of a wide variety of Tf and tau was involved trapezoidal numerical integration methods. Current charge and current quadratic integral that arise from direct strike and varies of Tf and tau compared to each phase in order to obtain the effect of Tf and tau lightning impulse on the performance of arresters as complied to the standard IEEE C62. 11.*

**Keywords:** current charge, current quadratic integral, trapezoidal numerical integration methods, arresters, ATP

## I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir, telah terjadi pertumbuhan yang cepat di jaringan listrik di seluruh dunia yang akhirnya mengarah pada penambahan sejumlah besar saluran transmisi dan distribusi. Saluran transmisi merupakan suatu bagian utama pada proses penyaluran energi listrik. Jika terjadi gangguan pada saluran transmisi, maka juga akan mempengaruhi peralatan-peralatan yang terhubung ke sistem tenaga listrik. Saluran transmisi mempunyai menara yang tinggi, sehingga gangguan yang sering terjadi adalah sambaran petir.

Sambaran petir dapat menyebabkan kegagalan pada isolator, tegangan lewat denyar (*backflashover*) dan tegangan induksi. Sambaran petir yang mengenai sistem tenaga listrik akan menimbulkan tegangan lebih, baik sambaran secara langsung maupun tidak langsung. Tegangan lebih ini dapat membahayakan isolator pada saluran serta peralatan-peralatan listrik lainnya apabila dibiarkan mengalir pada sistem dan tersalurkan ke beban. Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem proteksi yang dapat menangani gangguan tersebut. Salah satu

perlindungannya adalah dengan pemasangan arrester.

Arrester petir memiliki kemampuan mengamankan peralatan listrik dari gangguan surja petir. Alat pengaman ini memiliki nilai tahanan yang tidak linier pada setiap tingkat tegangan dan arus. (Kijoyo, 2014)

Kinerja arrester sangat dipengaruhi oleh karakteristik arrester terutama dalam merespons tegangan lebih yang datang pada terminalnya. Oleh sebab itu sangat penting untuk mengetahui unjuk kerja arrester, dalam merespons (menanggapi) tegangan lebih dengan berbagai macam muka gelombang (*wave front*). Disamping itu perlu diketahui juga nilai tegangan residu arester, karena impuls merupakan ancaman yang membahayakan bagi peralatan listrik apabila besarnya melebihi BIL peralatan yang dilindungi. (Kijoyo, 2014)

Pada penelitian ini akan dilihat kinerja arrester dalam menanggapi tegangan lebih dengan berbagai perubahan dari durasi waktu muka gelombang ( $T_f$ ) dan durasi sambaran ( $\tau$ ) impuls petir dengan melakukan analisa muatan arus dan

integral kuadrat arus yang terbaca di arrester dengan disimulasikan pada program ATP-EMTP.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Petir

Petir atau halilintar merupakan gejala alam yang biasanya muncul ketika musim hujan dimana di langit muncul kilatan cahaya sesaat yang beberapa kemudian disusul dengan suara menggelegar. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan karena adanya perbedaan antara kecepatan cahaya dan kecepatan suara.

Petir juga mempunyai kemampuan dalam merusak objek-objek yang berada diatas tanah melalui sambaran langsung. Sambaran petir bukan hanya merusak sistem dan peralatan-peralatan, namun juga dapat mengakibatkan kematian pada manusia dan hewan.

### 2.2 Gangguan Petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 kV

Tegangan lebih adalah tegangan yang hanya dapat ditahan untuk waktu terbatas. Berdasarkan sumber-sumbernya, IEC mengklasifikasikan tegangan lebih menjadi tegangan lebih petir, tegangan lebih *switching* dan tegangan lebih temporer. Tegangan lebih petir yang terjadi pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh dua macam sambaran, yaitu sambaran langsung dan tidak langsung. Pada saluran udara, sambaran langsung tersebut dapat mengenai kawat fasa, kawat tanah, dan menara, sedangkan sambaran tidak langsung adalah sambaran ke tanah yang berada didekat saluran udara. Untuk saluran transmisi seperti SUTT 150 kV, dampak sambaran tidak langsung dapat diabaikan.

Saat terjadi sambaran petir pada sebuah saluran transmisi maka akan timbul kenaikan tegangan pada jaringan dan tegangan lebih surja kemudian akan merambat ke ujung jaringan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



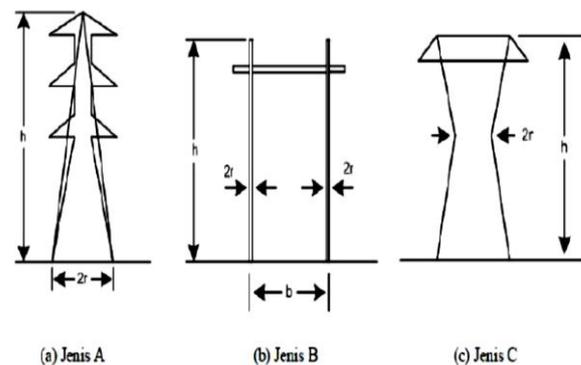
Gambar 2.1 Tegangan Surja akibat Sambaran Petir

Pada saat gardu induk mengalami tegangan lebih akibat sambaran petir, maka isolasi peralatan yang ada pada gardu induk akan mengalami

kerusakan. Sehingga diperlukan suatu peralatan pelindung agar tegangan surja yang tiba di gardu induk tidak melebihi kekuatan isolasi peralatan gardu. Maka dari itu dipakailah kawat tanah tahanan tanah yang serendah mungkin yang tidak boleh lebih dari 5 ohm dan digunakan juga arrester untuk melindungi gardu induk dari gelombang merambat.

### 2.3 Impedansi Surja Menara

Menara dapat direpresentasikan sebagai impedansi surja atau induktansi. Tegangan lebih yang terjadi pada menara sebagai impedansi surja berbanding lurus dengan arus puncak, sedangkan pada menara sebagai induktansi tegangan lebih berbanding lurus dengan kecuraman arus. Impedansi surja menara diturunkan dari bentuk geometri menara. Dalam saluran transmisi terdapat tiga jenis tiang (menara), yaitu (a) Persegi, (b) *Gantry*, dan (c) *Korset*



Gambar 2.2 Jenis Menara Transmisi (Hutahuruk, 1991)

#### a. Menara Jenis Persegi

$$Z_t = 30 \ln \left[ \frac{2(h^2 + r^2)}{r^2} \right] \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- $Z_t$  = Impedansi Tiang ( $\Omega$ )
- $r$  = Jarak Tengah Tiang (m)
- $h$  = Tinggi Tiang (m)

#### b. Menara Jenis *Gantry*

$$Z_t = 0.5 \left\{ \left[ 60 \ln \left( \frac{h}{b} \right) + 90 \left( \frac{b}{h} \right) - 60 \right] + \left[ 60 \ln \left( \frac{h}{r} \right) + 90 \left( \frac{r}{h} \right) - 60 \right] \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana:

- $b$  = Jarak Gawang Tiang (m)
- $r$  = Jarak Tengah Lengan Tiang (m)

#### c. Menara Jenis *Korset*

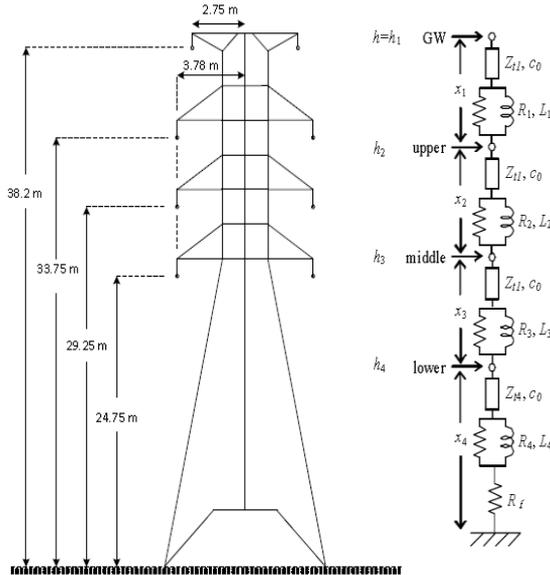
$$Z_t = \left[ \ln \left( \sqrt{2} \frac{2h}{r} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana:

$r$  = Jarak Tengah Lengan Tiang

### 2.4 Resistansi dan Induktansi Menara

Besarnya nilai resistansi dan induktansi sebuah menara dapat mempengaruhi besarnya tegangan yang timbul pada tiang. Maka dari itu induktansi menara merupakan bagian penting dalam sebuah menara yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Ametani, 2010):



$$R_i = \Delta R_i \cdot x_i \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \frac{2 \cdot Z_{t1}}{(h - x_4)} \cdot \ln\left(\frac{1}{\alpha_1}\right) \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\Delta R_4 = \frac{2 \cdot Z_{t4}}{h} \cdot \ln\left(\frac{1}{\alpha_4}\right) \dots\dots\dots(2.6)$$

$$L_i = 2 \cdot \tau \cdot R_i \dots\dots\dots(2.7)$$

dimana :

Waktu berjalan sepanjang tower :  $\tau = \frac{h}{c_0}$

Konstanta atenuasi sepanjang tower :  $\alpha_1 = \alpha_4 = 0.89$

Kecepatan cahaya :  $c_0 = 300 \text{ m}/\mu\text{s}$

### 2.8 Arrester

Salah satu usaha memperkecil terjadinya gangguan internal maupun eksternal untuk mencegah kerusakan pada peralatan akibat sambaran petir adalah pemasangan arrester. Arrester adalah peralatan pengaman instalasi dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir

(Lightning Surge) maupun oleh surja hubung (Switching Surge). Arrester berfungsi sebagai alat untuk melindungi isolasi atau mengamankan instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambung atau pemutusan rangkaian, alat ini bersifat sebagai *by-pass* disekitar isolasi yang membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat ke sistem pentanahan sehingga menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. *By-pass* ini harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya ke konsumen.

Dalam sistem tenaga listrik arrester merupakan kunci koordinasi isolasi. Saat surja (*surge*) tiba di gardu induk kemudian arrester akan melepaskan muatan listrik dan tegangan abnormal yang akan mengenai gardu induk dan peralatannya akan berkurang. Setelah surja (petir atau hubung) dilepaskan melalui arrester masih terdapat arus mengalir dikarenakan tegangan sistem yang disebut sebagai arus dinamik atau arus susulan (*follow current*). Arrester harus memiliki ketahanan termis yang cukup terhadap energi dari arus susulan tersebut, serta harus mampu untuk memutuskannya.

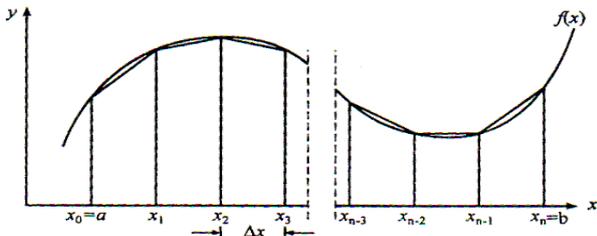
Bagian-bagian Arrester:

- a. Elektroda  
Elektroda adalah terminal dari *lighting arrester* yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan dibagian atas dan elektroda bawah dihubungkan dengan tanah.
- b. Sela percikan (*spark-gap*)  
Apabila terjadi tegangan lebih oleh sambaran petir atau surja hubung pada *lighting arrester* yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark-gap*) akan terjadi loncatan bunga api. Pada beberapa tipe *lighting arrester* busur api yang terjadi tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang ditimbulkan oleh tabung fiber yang terbakar.
- c. Tahanan katup (*Valve resistor*)  
Tahanan yang diperlukan dalam *lighting arrester* ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah bila mendapat perubahan tegangan.

### 2.9 ATP (Alternative Transients Program)

ATP adalah program komputer yang didesain untuk menyelesaikan masalah peralihan pada sistem tenaga listrik untuk rangkaian

terkonsentrasi (*lumped*), rangkaian terdistribusi atau kombinasi kedua rangkaian tersebut. Program versi ini pertama kali dikembangkan oleh H. M. Dommel di *Munich Institute of Technology* awal tahun 1960-an. H. M. Dommel mengembangkan program ini di *University of British Columbia*. Sekitar tahun 1980, EMTP menjadi program yang diminati oleh perusahaan listrik. EMTP DCG (*Development Coordinating Group*) bekerja sama dengan EFRI (*Electric Power Research Industry*) untuk



pengembangan EMTP. Karakteristik surja petir yang terjadi pada saluran transmisi kemudian sampai pada arrester dapat diketahui dengan mensimulasikannya dengan menggunakan suatu perangkat lunak (*software*) ATP-EMTP, dimana ATP-EMTP adalah suatu program komputer terintegrasi yang didesain khusus untuk menyelesaikan permasalahan peralihan (*transient*) pada sistem tenaga listrik dengan parameter R, L, dan C. EMTP digunakan untuk menganalisa tegangan lebih transien yang diakibatkan oleh surja hubung dan surja petir karena program ini menyediakan fasilitas pemodelan generator, pemutus tenaga, arrester, sumber surja petir, dan pemodelan saluran tenaga listrik. (Dedi, 2009)

**2.10 Metode Integrasi Numerik Trapezoidal**

Sambaran petir pada suatu objek dibumi yang di ikuti oleh aliran arus petir yang tinggi dalam waktu yang sangat singkat disebut arus impuls petir. Kerusakan yang dapat ditimbulkan ditentukan oleh parameter tertentu, yaitu muatan arus dan integral kuadrat arus. Muatan arus merupakan jumlah muatan arus petir yang dapat menyebabkan peledakan pada ujung objek sambaran (luas dari terpa petir atau integral kuadrat arus terhadap waktu). Integral Kuadrat Arus (E) merupakan integral kuadrat arus yang merupakan efek mekanis dan panas petir, dapat dirumuskan seperti dibawah ini:

$$E = \int I^2 \cdot dt \dots\dots\dots(2.8)$$

Pada penelitian ini, untuk mencari nilai muatan arus dan integral kuadrat arus digunakan metode integrasi numerik trapezoidal, dimana

metode trapezium merupakan metode integrasi numerik yang didasarkan pada penjumlahan segmen-segmen berbentuk trapesium. Apabila sebuah integral didekati dengan metode trapezium dengan satu segmen saja, maka dapat dituliskan sebagai

$$\int_a^b f(x)dx \approx (b - a) \frac{f(a)+f(b)}{2} \dots\dots\dots(2.9)$$

Apabila terdapat *n* segmen, maka panjang masing-masing segmen adalah

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} \dots\dots\dots(2.10)$$

Batas-batas segmen diberi notasi:

$$x_0 = a, x_1, x_2, \dots, x_n = b \dots\dots\dots(2.11)$$

Integral total dapat ditulis dalam bentuk:

$$I = \int_{x_0}^{x_1} f(x) dx + \int_{x_1}^{x_2} f(x) dx + \dots + \int_{x_{n-1}}^{x_n} f(x) dx \dots\dots\dots(2.12)$$

Gambar 2.3 Metode trapezium dengan banyak segmen

Substitusikan persamaan (2.9) kedalam persamaan (2.12) akan didapat:

$$I = \Delta x \frac{f(x_1)+f(x_0)}{2} + \Delta x \frac{f(x_2)+f(x_1)}{2} + \dots + \Delta x \frac{f(x_n)+f(x_{n-1})}{2}$$

atau

$$I = \frac{\Delta x}{2} \left[ f(x_0) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) + f(x_n) \right] \dots\dots\dots(2.13)$$

atau

$$I = \frac{\Delta x}{2} \left[ f(a) + f(b) + 2 \sum_{i=1}^{n-1} f(x_i) \right] \dots\dots\dots(2.14)$$

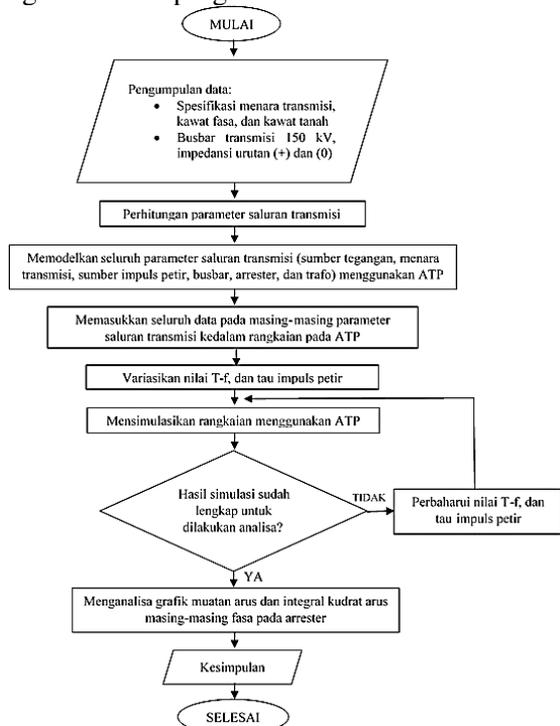
Nilai dibawah kurva itulah yang merupakan muatan arus dan integral kuadrat arus. Maka dari itu, besarnya muatan listrik (coulomb) yang dipikul arrester sama dengan nilai dibawah kurva yang dihitung pada tiap fasanya.

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

Pada Gambar 3.1 menunjukkan tentang bagaimana proses penelitian. Proses dimulai dengan pengumpulan data, yang berupa spesifikasi menara transmisi, yaitu data kawat tanah dan kawat fasa jenis ACSR, impedansi surja menara (standar IEEE dan CIGRE), resistansi dan induktansi menara sesuai rumus (2.4) sampai (2.7). Kemudian data konduktor jenis ACSR impedansi saluran gardu induk 150 kV dengan konstanta impedansi urutan seperti berikut:

- imp. urutan positif ( $Z_1$ ):  $0,0336+j0,2614 \Omega/\text{km}$
- imp. urutan positif ( $Z_2$ ):  $0,0336+j0,2614 \Omega/\text{km}$
- imp. urutan positif ( $Z_0$ ):  $0,5970+j2,0483 \Omega/\text{km}$

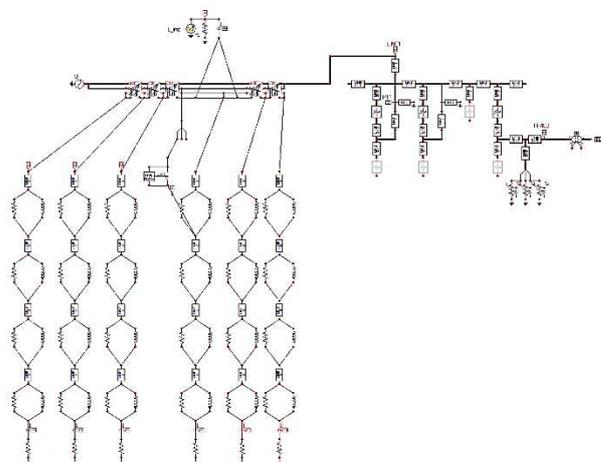
Dan data pendukung penelitian lainnya seperti data arrester zink oksida (standar IEEE), dan data transformator daya. Selanjutnya perhitungan parameter saluran transmisi dari data-data yang telah didapatkan. Hasil dari perhitungan tersebut dimasukkan kedalam parameter saluran transmisi yang telah dimodelkan dengan menggunakan *Software ATP*. Selanjutnya, untuk mengetahui muatan arus dan integral kuadrat arus pada arrester yang terjadi akibat sambaran dengan impuls petir 10 MV, maka durasi waktu gelombang ( $T_f$ ) dan durasi sambaran ( $\tau$ ) impuls petir pada ATP akan divariasikan sehingga perbandingan nilai muatan arus dan integral kuadrat arus pada setiap fasa akan terlihat jelas. Sebelum membandingkan nilai muatan arus dan integral kuadrat arus pada tiap fasa, dihitung terlebih dahulu besar muatan arus dan integral kuadrat arus menggunakan metode integrasi numerik trapezoidal dari grafik keluaran ATP dengan bantuan program Matlab.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 3.2 merupakan model rangkaian sambaran langsung pada kawat tanah (*ground wire*) yang dimodelkan menggunakan ATP. Terdapat

sumber impuls petir, enam menara transmisi, gardu induk, arrester, dan transformator daya 150 kV.



Gambar 3.2 Model Sambaran Langsung pada Kawat Tanah (*Ground Wire*) dalam ATP

Tabel 3.1 Variasi Nilai  $T_f$  dan  $\tau$  untuk Setiap Fasa

Tsta	$T_f$	$\tau$	Fasa
1E-6	1.2E-6	5E-5	fasa A,B,C
		7E-5	fasa A,B,C
		9E-5	fasa A,B,C
		11E-5	fasa A,B,C
		13E-5	fasa A,B,C
2.4E-6	2.4E-6	5E-5	fasa A,B,C
		7E-5	fasa A,B,C
		9E-5	fasa A,B,C
		11E-5	fasa A,B,C
		13E-5	fasa A,B,C
3.6E-6	3.6E-6	5E-5	fasa A,B,C
		7E-5	fasa A,B,C
		9E-5	fasa A,B,C
		11E-5	fasa A,B,C
		13E-5	fasa A,B,C
4.8E-6	4.8E-6	5E-5	fasa A,B,C
		7E-5	fasa A,B,C
		9E-5	fasa A,B,C
		11E-5	fasa A,B,C
		13E-5	fasa A,B,C
6.0E-6	6.0E-6	5E-5	fasa A,B,C
		7E-5	fasa A,B,C
		9E-5	fasa A,B,C

		11E-5	fasa A,B,C
		13E-5	fasa A,B,C

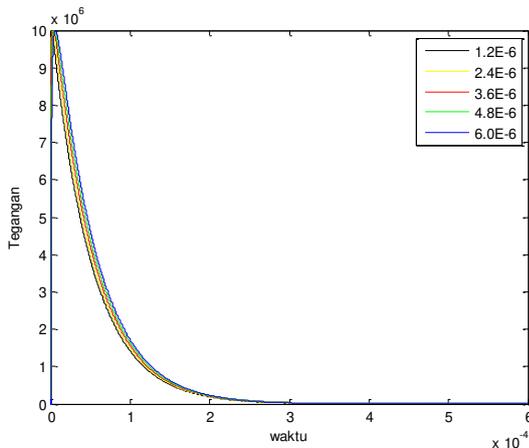
Untuk mendapatkan besarnya perbandingan muatan arus dan integral kuadrat arus tiap fasa, nilai Tf divariasikan dengan kelipatan 1,2 dan tau dengan penambahan dua (+2) untuk masing-masing fasa A, B, dan C arrester pada tegangan sumber impuls 10 MV sesuai Tabel 3.1.

Setelah seluruh grafik variasi Tf dan tau didapatkan, selanjutnya grafik tersebut di *input* kedalam Matlab untuk dihitung nilai muatan arus dan integral kuadrat arus dari masing-masing fasa.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

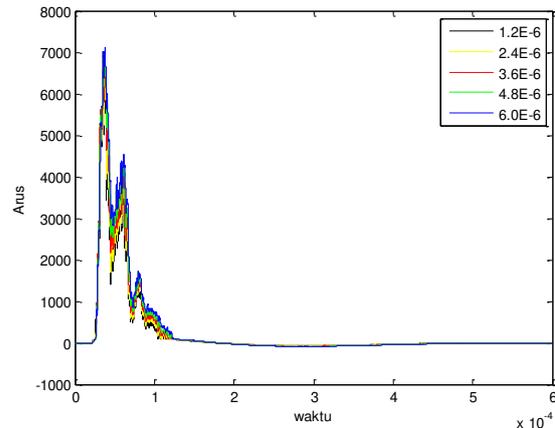
##### 4.1 Pengaruh Perubahan Tf terhadap Kinerja Arrester

Gambar 4.1 merupakan karakteristik tegangan impuls petir yang divariasikan nilai waktu muka gelombang, yaitu 1,2E-6; 2,4E-6; 3,6E-6; 4,8E-6; dan 6,0E-6 dalam satuan detik. Sedangkan waktu mulai muka gelombang 1E-7 dan durasi 5E-5.



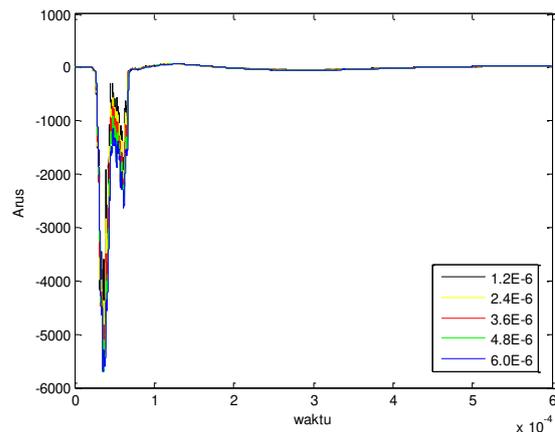
Gambar 4.1 Variasi Tf Impuls Petir

Dengan menginjeksi impuls petir seperti karakteristik Gambar 4.1 diatas, maka akan menyebabkan arrester akan bekerja karena arrester dilalui arus yang direpresentasikan pada Gambar 4.2 untuk fasa A.



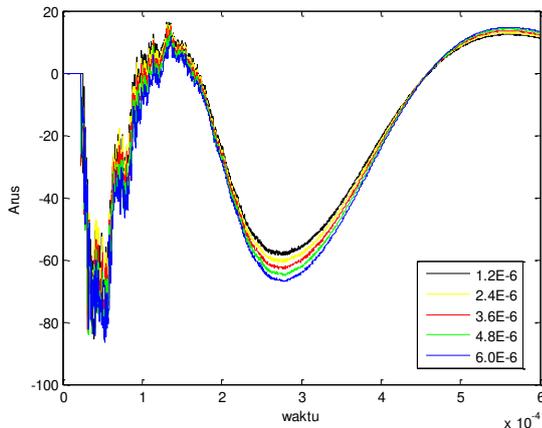
Gambar 4.2 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa A terhadap Pengaruh Perubahan Tf

Dengan pengaruh karakteristik impuls petir yang sama, gelombang arus yang melewati arrester pada fasa B akan terlihat seperti pada Gambar 4.3 dibawah ini.



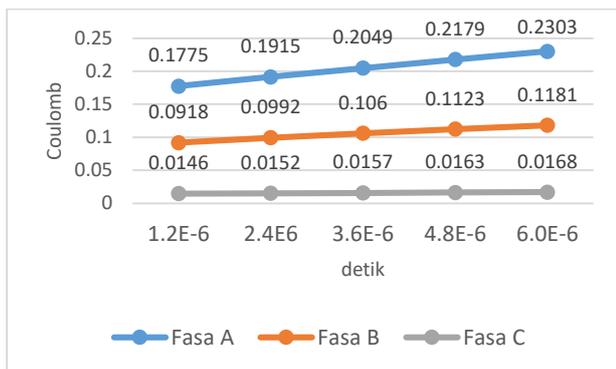
Gambar 4.3 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa B terhadap Pengaruh Perubahan Tf

Sedangkan untuk fasa C, arus yang melewati arrester dapat dilihat pada Gambar 4.4 dengan pengaruh karakteristik impuls yang sama.

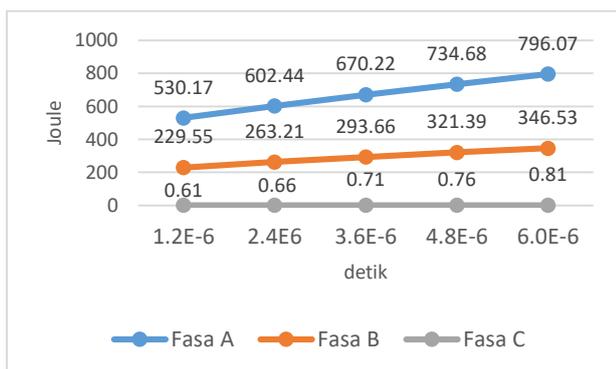


Gambar 4.4 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa C terhadap Pengaruh Perubahan Tf

#### 4.1.1 Perbandingan Nilai Muatan Arus dan Integral Kuadrat Arus Terhadap Perubahan Tf



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai Muatan Arus Terhadap Perubahan Tf



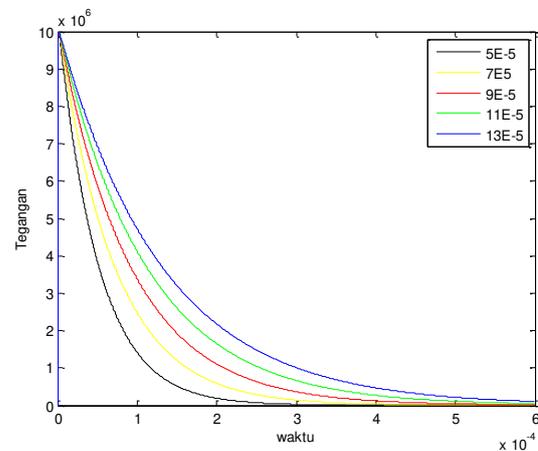
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai Integral Kuadrat Arus Terhadap Perubahan Tf

Grafik diatas merupakan perbandingan nilai muatan arus dan integral kuadrat arus dari variasi Tf impuls petir. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa waktu mulai muka gelombangnya sama setiap fasa, tetapi ketika mencapai puncak terjadi perubahan waktu

dimana fasa A lebih cepat mengalami kenaikan daripada fasa B dan C. Sehingga nilai muatan arus dan integral kuadrat arus mengalami perubahan untuk setiap variasi waktu muka gelombang, terutama untuk fasa A karena arus puncak pada fasa A mencapai 7 kA.

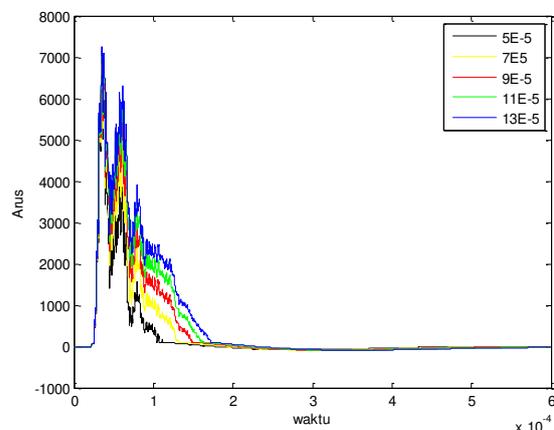
#### 4.2 Pengaruh Perubahan tau terhadap Kinerja Arrester

Gambar 4.7 merupakan karakteristik tegangan impuls petir yang divariasikan nilai durasi sambarannya, yaitu 5E-5; 7E-5; 9E-5; 11E-5; dan 13E-5 dalam satuan detik. Sedangkan waktu mulai muka gelombang 1E-7 dan waktu muka gelombang 1,2E-6.



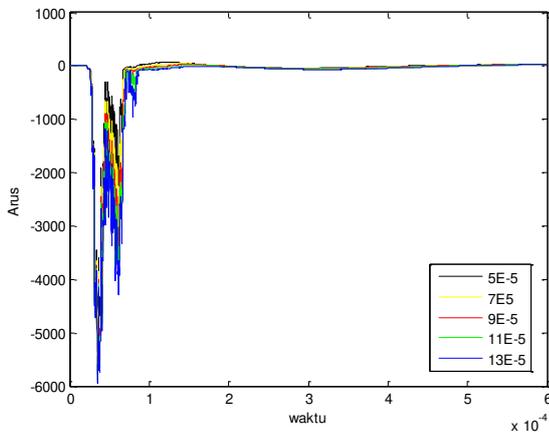
Gambar 4.7 Variasi tau Impuls Petir

Dengan menginjeksi impuls petir seperti karakteristik Gambar 4.7 diatas, maka akan menyebabkan arrester akan bekerja karena arrester dilalui arus yang direpresentasikan pada Gambar 4.8 untuk fasa A.



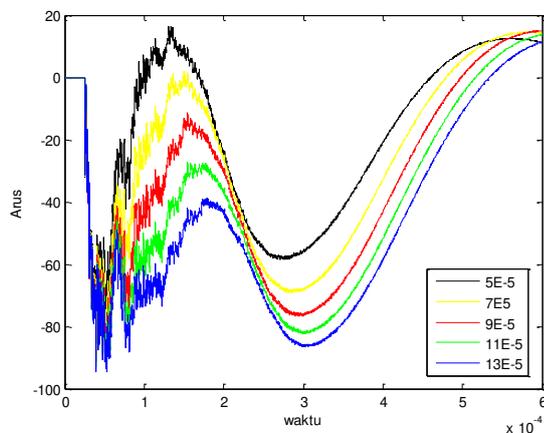
Gambar 4.8 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa A terhadap Pengaruh Perubahan tau

Dengan pengaruh karakteristik impuls petir yang sama, gelombang arus yang melewati arrester pada fasa B akan terlihat seperti pada Gambar 4.9 dibawah ini.



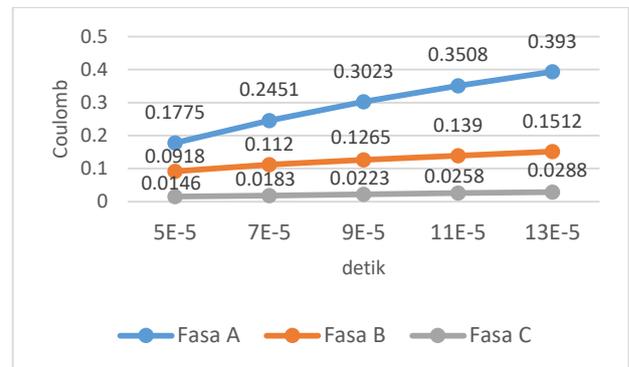
Gambar 4.9 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa B terhadap Pengaruh Perubahan tau

Sedangkan untuk fasa C, arus yang melewati arrester dapat dilihat pada Gambar 4.10 dengan pengaruh karakteristik impuls yang sama.

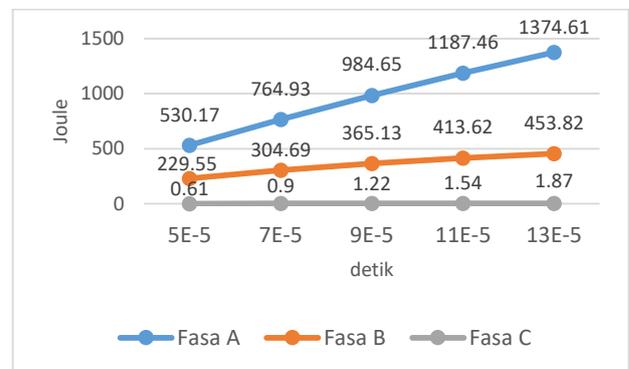


Gambar 4.10 Gelombang Arus yang Melewati Arrester pada Fasa C terhadap Pengaruh Perubahan tau

#### 4.2.1 Perbandingan Nilai Muatan Arus dan Integral Kuadrat Arus Terhadap Perubahan tau



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Nilai Muatan Arus Terhadap Perubahan tau



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Nilai Integral Kuadrat Arus Terhadap Perubahan tau

Grafik diatas merupakan perbandingan nilai muatan arus dan integral kuadrat arus pada Tabel 4.1 dari variasi tau impuls petir. Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa waktu mulai muka gelombangnya sama hingga mencapai puncak, tetapi setelah arus puncak fasa A lebih cepat turun (menuju 0) daripada fasa B dan C. Sehingga perubahan durasi sambaran tersebut sangat mempengaruhi nilai dari muatan arus dan integral kuadrat arus terutama untuk fasa A karena arus puncak pada fasa A mencapai sekitar 7,2 kA

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Variasi  $T_{sta}$  pada impuls petir tidak berpengaruh terhadap muatan arus dan integral kuadrat arus.
2. Variasi  $T_f$  pada impuls petir berpengaruh terhadap muatan arus dan integral kuadrat arus pada arrester. Waktu mulai muka gelombangnya sama setiap fasa, tetapi ketika mencapai puncak terjadi perubahan waktu dimana fasa A lebih cepat mengalami kenaikan daripada fasa B dan C.
3. Variasi  $\tau$  pada impuls petir sangat berpengaruh terhadap muatan arus dan integral kuadrat arus. Waktu mulai muka gelombangnya sama setiap fasa hingga mencapai puncak, tetapi setelah arus puncak fasa A lebih cepat turun (menuju 0) daripada fasa B dan C.
4. Variasi nilai dari  $T_f$  dan  $\tau$  impuls petir pada penelitian ini tidak menyebabkan nilai arus sambaran yang terjadi pada arrester melebihi batas arus tahanan arrester yang direkomendasikan IEEE, yaitu 100 kA.
5. Muatan arus yang terjadi pada arrester tidak melebihi batas muatan (coulomb) arrester, yaitu 3,2 coulomb sehingga tidak mempengaruhi tegangan transformator daya pada gardu induk.

### 5.2 Saran

Melakukan analisa muatan arus dan integral kuadrat arus pada arrester dengan variasi nilai dari  $T_f$  dan  $\tau$  yang dapat menyebabkan nilai arus dan muatan arus melewati batas dari rating arrester, yaitu 3,2 C dan 100 kA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, Shehab Abdulwadood. 2013. *Modeling of Power Networks by ATP-Draw for Harmonics Propagation Study*. Aden University, Yemen.
- Ambarita, Rindu Putra. *Simulasi Sambaran Petir Langsung pada Saluran Transmisi 150 kV Terhadap Kawat Fasa dengan Variasi Tahanan Pentanahan*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ametani, Akihiro. 2010. *Lightning Surge Analysis by EMTP and Numerical Electromagnetic Analysis Method, International Conference on Lightning Protection – ICLP 2010, Cagliari Italy*.
- Denno. Khalil. 1992. *High Voltage Engineering in Power System*. New Jersey Institute of Technology Newark, New Jersey.
- Hidayatulloh, Nurul. 2009. *Kemampuan Arrester untuk Pengaman Transformator pada Gardu Induk Sronдол 150 kV*. UNES, Semarang.
- Hidayatulloh, Rachmad. 2012. *Analisa Gangguan Hubung Singkat pada Jaringan SUTT 150 kV Jalur Kebasen – Balapulang – Bumiayu Menggunakan Prgram ETAP*. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Hutagaol, Soli Akbar. 2009. *Studi tentang Sistem Penangkal Petir pada BTS (Base Transceiver Station)*. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Hutauruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Erlangga, Bandung.
- Kijoyo, Hendri. 2014. *Analisis Kerja Arrester Tegangan Tinggi 150 kV pada GIS Tandem Terhadap Gangguan Impuls Petir dan Hubung Menggunakan Power System Computer Aided Design*. ITS, Surabaya.
- L. Tobing, Bonggas. 2012. *Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Novizon, dkk. 2011. *Condition Monitoring of Zinc Oxide Surge Arresters*. UTM, Malaysia
- Pratomo, Fariz Dwi. *Studi Tegangan Lebih Impuls Akibat Penggunaan Konfigurasi Mixed Lines (High Voltage Overhead-Cable Lines) 150 kV*. ITS, Surabaya.
- Wibowo, Lucky Arie. 2010. *Modeling 150 kV Power System for Voltage Stability Studies*. Delft University of Technology
- Zoro, Reynaldo. 1999. *Karakteristik Petir dan Kondisi Cuaca di Daerah Tropis – Kasus Gunung Tangkuban Perahu*. Disertasi Doktor. ITB, Bandung.