

# ANALISIS TEGANGAN LEBIH TRANSIEN IMPULS PADA *MIXED TRANSMISSION LINE* (SUTT-SKTT) 150 KV MENGGUNAKAN SOFTWARE ATP-EMTP

Okky Kurniawan<sup>1)</sup>, Fri Murdiya<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
E-mail : oky.kurniawan@student.unri.ac.id

## ABSTRACT

*The distribution of electrical power from the power plant to the center of the load on the transmission line can occur the electrical fault. This fault that often occurs is a transient overvoltage caused by a direct lightning stroke. Lightning stroke can cause the lightning impulses which are the dominant factor in generating the transient over voltages on 150 kV overhead lines compare to the high voltage cable lines. This investigation studied the effect of lightning stroke on the 150 kV mixed transmission lines using the ATP-EMTP (Alternative Transient Program – Electromagnetic Transient Program) software . The data analysis is carried out by simulating all line parameters and evaluating the transient overvoltage value on the transmission lines. It is shown that the highest transient overvoltage occurs when the lightning strikes on the ground static wires compared to when the lightning strikes on the phase wires. It is also shown that the use of the 150 kV mixed-lines can decrease the overvoltage caused by the direct lightning stroke. The installation of arresters on the transmission towers provides a significant reduction in over voltage caused by lightning stroke.*

*Keywords : arrester, ATP-EMTP, lightning, mixed transmission lines, transient over voltage.*

## I. PENDAHULUAN

Dewasa ini energi listrik telah memegang peranan penting bagi kehidupan yang modern. Seiring dengan pertumbuhan populasi penduduk dan perkembangan teknologi yang begitu pesat menjadikan listrik sebagai prioritas utama dalam kehidupan masyarakat. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan penyaluran transmisi tenaga listrik yang handal dengan tingkat keamanan yang memadai. Penyaluran daya listrik dari pusat-pusat pembangkit hingga ke pusat-pusat beban pada saluran transmisi dapat mengalami gangguan. Gangguan yang sering terjadi salah satunya adalah gangguan tegangan lebih *transient* yang disebabkan oleh sambaran petir langsung (Pratomo *et al.*, 2011).

Sambaran petir pada saluran transmisi dapat menyebabkan adanya surja petir yang merambat

sepanjang saluran. Perambatan surja tersebut dapat menyebabkan tegangan lebih transien. pada sistem tenaga listrik sehingga menyebabkan kegagalan pada isolator, lompatan api balik (*backflashover*) sehingga menyebabkan terjadinya gangguan 1 fasa ke tanah serta membahayakan peralatan-peralatan listrik lainnya.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Pada suatu Sistem Tenaga Listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pusat pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi, saluran transmisi tersebut dapat berupa saluran udara tegangan tinggi dan saluran kabel tegangan tinggi.

Saluran Udara Tegangan Tinggi merupakan salah satu jenis saluran tenaga listrik yang

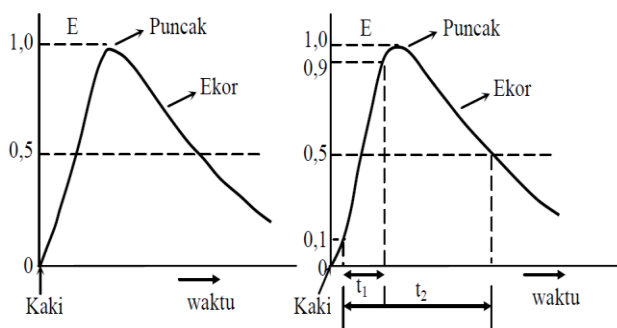
digunakan untuk keperluan transmisi tenaga listrik dalam jarak yang sangat jauh dari pusat pembangkit energi listrik ke pusat beban. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya.

Pada daerah tertentu (umumnya perkotaan) yang mempertimbangkan masalah estetika, lingkungan yang sulit mendapatkan ruang bebas, keandalan yang tinggi, serta jaringan antar pulau, dipasang Saluran Kabel. Dalam transmisi kabel tegangan tinggi, instalasinya berada didalam tanah sehingga tidak memerlukan tiang atau menara listrik. Penghantar yang digunakan berbeda dengan saluran udara, yaitu menggunakan pelindung / *shielding* pada penghantarnya.

## 2.2 Tegangan Lebih Surja Petir

Tegangan lebih surja petir adalah tegangan yang terjadi pada kawat penghantar tegangan tinggi karena adanya penyuntikan energi secara tiba-tiba pada kawat penghantar tersebut. Tegangan lebih tersebut hanya dapat ditahan untuk waktu terbatas dimana merupakan tegangan peralihan (*transient*) dari kondisi normal ke kondisi abnormal. Salah satu gangguan yang mengajibatkan tegangan lebih dari luar sistem adalah sambaran petir, baik secara langsung maupun tidak langsung (Hutahuruk, 1986).

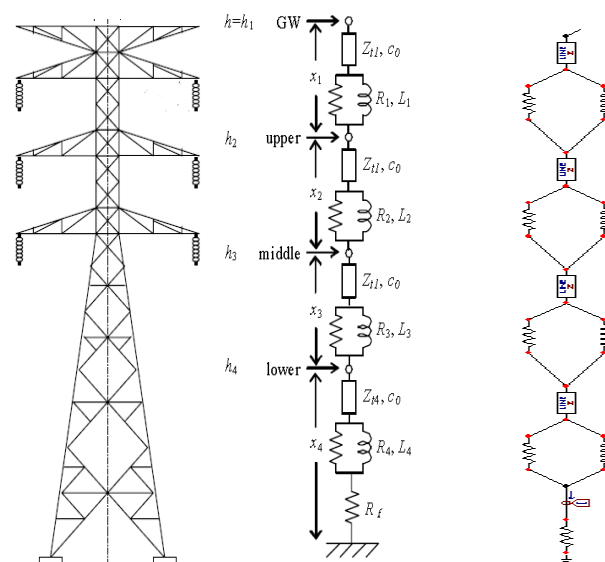
Bentuk umum suatu gelombang surja petir digambarkan pada gambar 1.



**Gambar 1.** Spesifikasi Gelombang Surja petir (Hutahuruk, 1986)

## 2.3. Model Menara Transmisi

Menara saluran transmisi 150 kV dimodelkan dengan lima parameter yang diilustrasikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Konstruksi dan model rangkaian menara transmisi 150 kV (Ametani, 2005)

Untuk menentukan parameter menara dapat digunakan persamaan berikut (Ametani, 2005) :

$$R_i = \Delta R_i \cdot x_i \quad (2.1)$$

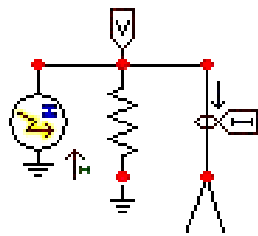
$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_3 = \frac{2 \cdot Z_{i1}}{(h - x_4)} \cdot \ln \left( \frac{1}{a_1} \right) \quad (2.2)$$

$$\Delta R_4 = \frac{2 \cdot Z_{i4}}{h} \cdot \ln \left( \frac{1}{a_4} \right) \quad (2.3)$$

$$L_i = 2 \cdot \tau \cdot R_i \quad (2.4)$$

## 2.4 Model Impuls Petir

Untuk sumber impuls petir pada penelitian ini dipilih tipe Heidler yang dapat digunakan sebagai sumber tegangan dan arus. Impuls petir tipe Heidler memungkinkan pemodelan yang mudah dari kuantitas arus petir di mana empat karakteristik kuantitas arus petir pada titik sambaran harus dipertimbangkan diantaranya: puncak arus, waktu kenaikan arus dan kecuraman arus maksimum (Heidler, 1999). Dalam ATP-EMTP, model sambaran petir ditunjukkan seperti pada gambar 3.



**Gambar 3.** Model impuls petir tipe Heidler (Fekete *et al.*, 2010)

Berikut fungsi Heidler digunakan untuk mewakili bentuk gelombang arus petir (heidler 1996) :

$$i(t) = \frac{I_0}{\eta} \cdot \frac{\left[\frac{t}{\tau_1}\right]}{\left[\frac{t}{\tau_1}\right]^n + 1} \cdot e^{-\left[\frac{t}{\tau_2}\right]} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

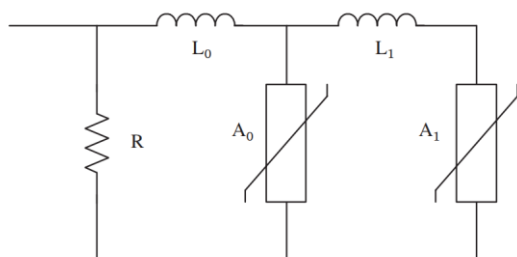
- $I_0$  = Arus Puncak petir
- $\tau_1$  = Konstanta waktu saat naik
- $\tau_2$  = Konstanta waktu saat turun
- $\eta$  = Faktor kecuraman Arus

### 2.5 Lightning Arrester

*Arrester* adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan lebih, baik yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung. Alat ini bersifat sebagai *by pass* di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan (Nurhaidi, Danial, & Rajagukguk, 2012)

#### 2.5.1 Model Surge Arrester

Model *Surge arrester* yang digunakan adalah *surge Arrester Metal Oxide Variester (MOV)* dengan model rangkaian Pincinti dan Giannettoni yang merupakan model sederhana dari standar IEEE W.G 3.4.11. untuk rangkaian model picinti dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Model Pincinti dan Gianettoni

Karakteristik resistor nonlinear A0 dan A1 identik dengan model IEEE W.G 3.4.11. Parameter L0 dan L1 dari model arrester surja yang disederhanakan ini dihitung dari persamaan berikut,

$$L_1 = \frac{1}{4} \cdot \frac{V_{r1/T_2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \dots\dots\dots(2.6)$$

$$L_0 = \frac{1}{12} \cdot \frac{V_{r1/T_2} - V_{r8/20}}{V_{r8/20}} \cdot V_n \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

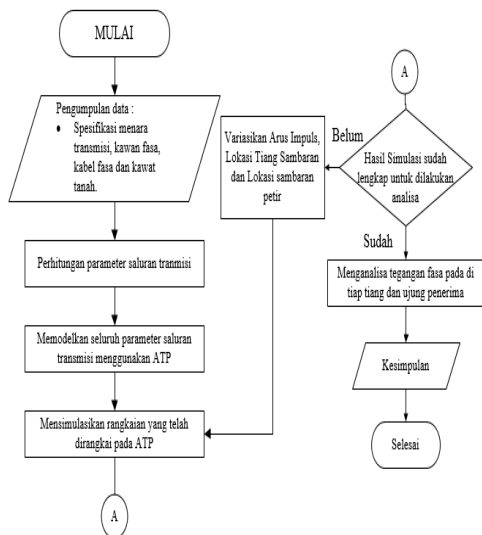
- $V_n$  = Arrester rated voltage
- $V_{r1/t_2}$  = Residual voltage pada 10 kA
- $V_{r8/20}$  = Residual Voltage pada 10 kA dengan gelombang petir 8/20

#### 2.5.2 Program ATP/EMTP

ATP (*Alternative Transient Program*) dan EMTP (*Electromagnetic Transient program*) merupakan program komputer yang ditekankan untuk menyelesaikan persoalan transien pada sistem tenaga listrik. ATP dan EMTP sangat tepat jika digunakan untuk menganalisis transien pada operasi surja hubung (*switching surge*) atau surja petir (*lightning surge*) karena program ini secara khusus menyediakan fasilitas pemodelan untuk generator, *circuit breaker*, transformator, sumber surja petir dan pemodelan berbagai jenis saluran transmisi tenaga listrik (Dommel and Herman, 1996).

### III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah simulasi dengan menggunakan perangkat lunak komputer berupa ATP-EMTP (*Alternative Transient Program – Elektromagnetic Transien Program*). Dalam perencanaan penggunaan metode simulasi ATP-EMTP dalam analisis tegangan lebih transien pada sistem *mixed transmission line (SUTT-SKTT)*, pada skripsi ini penulis membagi beberapa tahap. Adapun tahapan-tahapan dalam melakukan proses penelitian ini dapat dilihat pada gambar 5.



**Gambar 5.** Diagram Alir Penelitian

Pada gambar 5 diatas menunjukkan tahapan-tahapan dalam melakukan analisis tegangan lebih transien pada saluran *Mixed Transmission* 150 kV. Penelitian ini dimulai dengan melakukan pengumpulan data-data parameter terkait berupa spesifikasi menara, data saluran udara, saluran kabel tegangan tinggi dan kawat tanah. Kemudian memodelkan seluruh parameter saluran transmisi ke dalam ATP-EMTP dan memasukkan seluruh data-data parameter saluran kedalam rangkaian. Selanjutnya mensimulasikan rangkaian dan melakukan beberapa eksperimen seperti variasi lokasi sambaran, variasi lokasi tiang sambaran dan variasi pemasangan arrester ditiang. Jika hasil simulasi sudah lengkap maka dilanjutkan dengan melakukan analisis dan membuat kesimpulan. Kemudian jika hasil simulasi belum lengkap, maka akan dilakukan simulasi kembali.

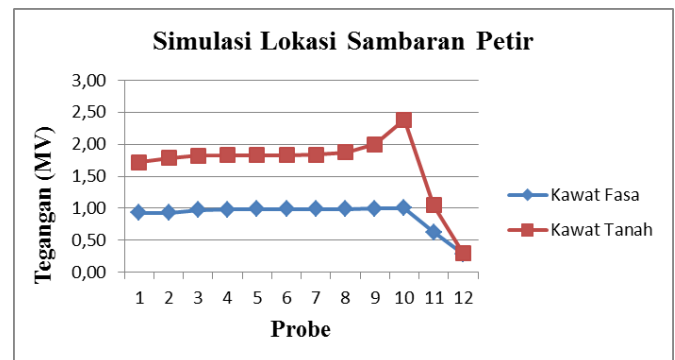
#### IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa variasi simulasi diantaranya variasi lokasi sambaran petir, variasi lokasi tiang sambaran petir dan variasi pemasangan arrester. Waktu muka gelombang petir dan waktu ekor gelombang petir yang di gunakan adalah 8  $\mu$ s dan 20  $\mu$ s.

##### 1.1 Simulasi Lokasi Sambaran Petir

Pada simulasi ini saluran transmisi campuran (SUTT-SKTT) dikondisikan mengalami 2 lokasi sambaran petir yaitu sambaran pada kawat fasa dan sambaran pada kawat tanah dengan lokasi sambaran pada tiang 10 dengan gelombang impuls

8/20  $\mu$ s. Berikut adalah hasil simulasi lokasi sambaran petir :

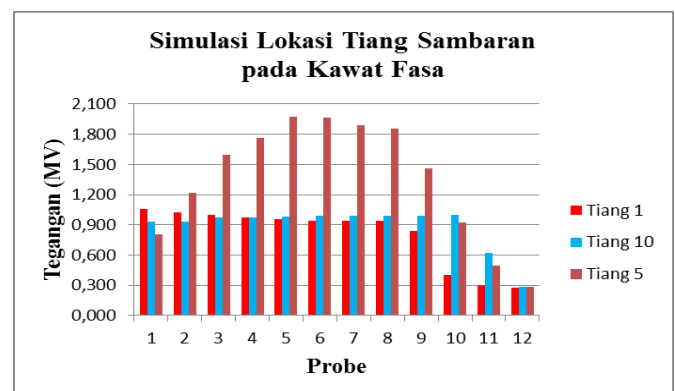


**Gambar 6.** Grafik perbandingan nilai tegangan lebih pada lokasi sambaran petir

Berdasarkan grafik diatas nilai tegangan lebih transien yang terjadi pada saat sambaran kawat tanah yaitu 0,998 MV lebih besar dibandingkan dengan nilai tegangan lebih transien pada saat sambaran kawat fasa yaitu 0,623 MV. kemudian pada titik tiang sambaran, nilai tegangan lebih transien pada saat sambaran kawat tanah memiliki nilai tegangan fasa yang lebih besar yaitu 2,284 MV dibandingkan dengan nilai tegangan lebih transien yang terjadi pada saat sambaran kawat fasa bernilai 1,003 MV.

##### 1.2 Simulasi Lokasi Tiang Sambaran Petir

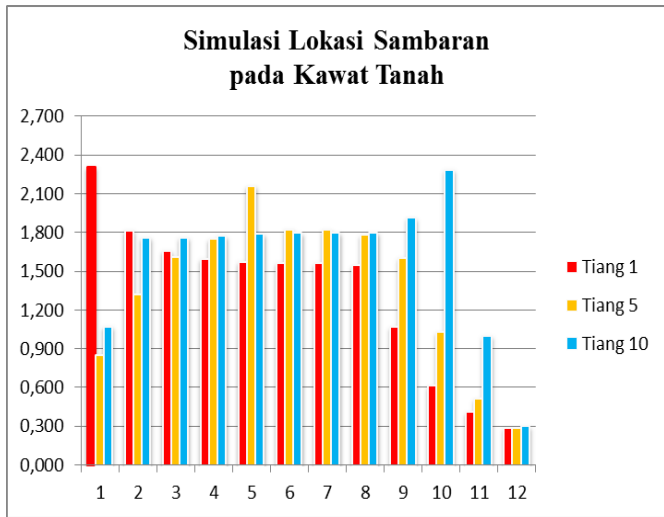
Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan memvariasikan letak sambaran di tiang 1, tiang 5 dan di tiang 10 pada SUTT-SKTT 150 kV pada saat kondisi sambaran kawat fasa dan sambaran kawat tanah. Berikut adalah grafik simulasi lokasi tiang sambaran :



**Gambar 7.** Grafik Simulasi Lokasi Tiang Sambaran pada Kawat Fasa

Berdasarkan grafik tersebut terlihat bahwa saat petir menyambar kawat fasa pada lokasi sambaran ditiang 1, nilai tegangan lebih dititik sambaran, titik sambungan dan adalah sebesar 1,056 MV dan 0,301 MV. Kemudian pada lokasi sambaran ditiang 5, nilai tegangan lebih dititik sambaran serta dititik sambungan adalah sebesar 1,972 MV dan 0,493 MV. Sedangkan pada lokasi sambaran ditiang 10, nilai tegangan lebih dititik sambaran dan titik sambungan adalah 1,003 MV dan 0,623 MV.

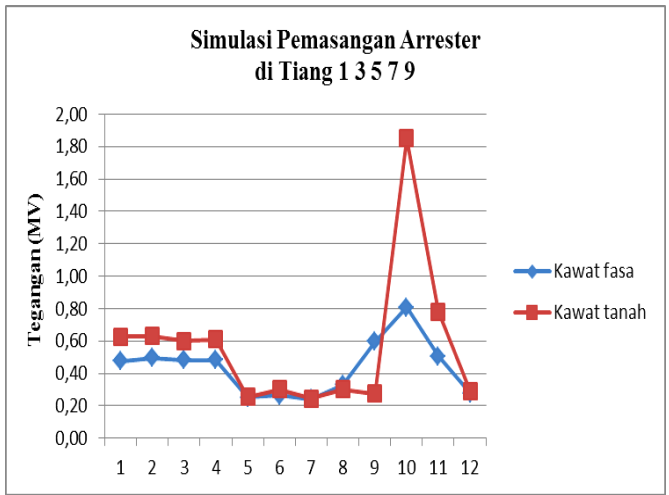
Begitu juga saat petir menyambar kawat tanah pada lokasi sambaran ditiang 1, nilai tegangan lebih dititik sambaran, titik sambungan dan adalah sebesar 2,305 MV dan 0,41 MV. Kemudian pada lokasi sambaran ditiang 5, nilai tegangan lebih dititik sambaran serta dititik sambungan adalah sebesar 2,161 MV dan 0,514 MV. Sedangkan pada lokasi sambaran ditiang 10, nilai tegangan lebih dititik sambaran dan titik sambungan adalah 2,284 MV dan 0,998 MV. Berikut adalah grafik simulasi lokasi tiang pada sambaran kawat tanah :



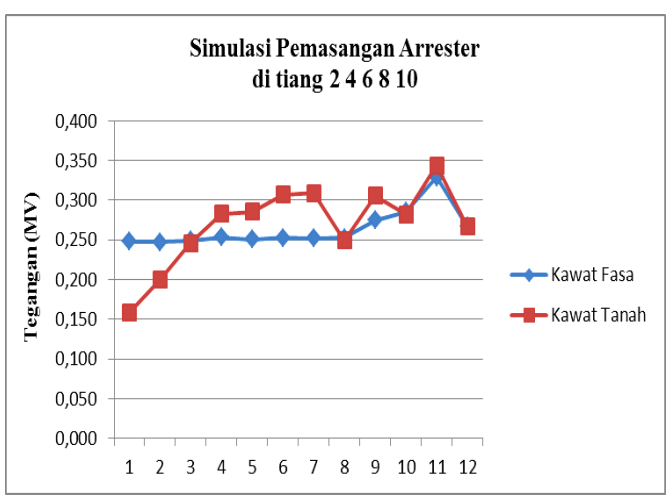
**Gambar 8.** Grafik Simulasi Lokasi Tiang Sambaran pada Kawat Tanah

**1.3 Simulasi Pemasangan Arrester**

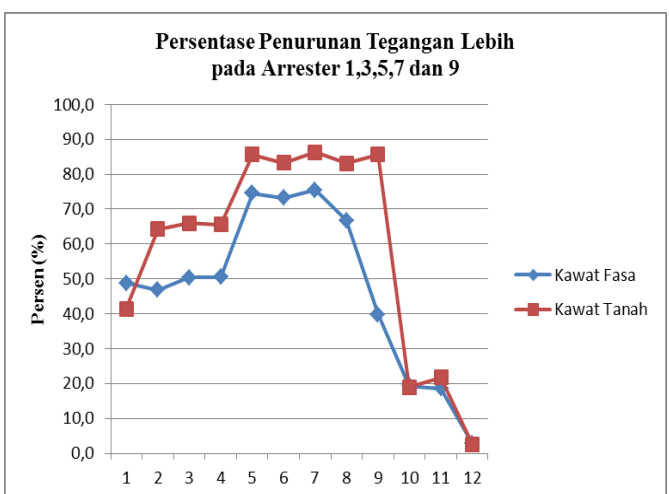
Pada simulasi ini dilakukan dengan 2 model pemasangan arrester yaitu arrester di tiang 1,3,5,7,9 dan arrester di tiang 2,4,6,8,10. Lokasi sambaran petir pada tiang 10 dengan gelombang impuls 8/20  $\mu$ s. Berikut merupakan hasil simulasi variasi pemasangan arrester.



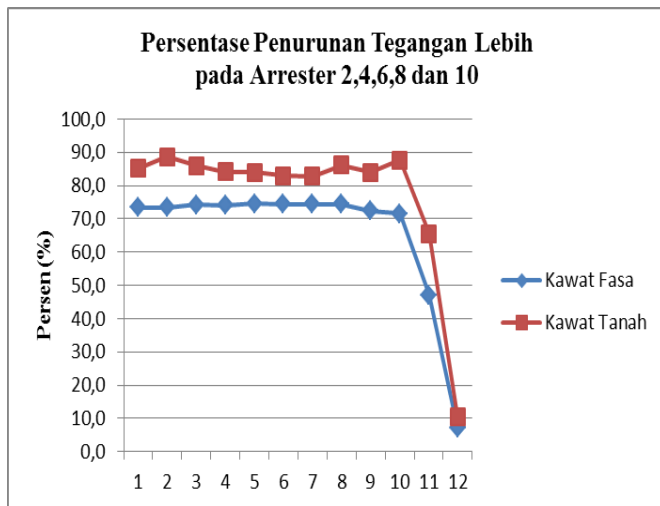
**Gambar 9.** Grafik tegangan lebih dengan arrester di tiang 1,3,5,7,dan 9



**Gambar 10.** Grafik tegangan lebihb dengan arrester di tiang 2,4,6,8,dan 10



**Gambar 11.** Grafik persentase penurunan tegangan lebih dengan arrester 1,3,5,7 dan 9



**Gambar 12.** Grafik persentase penurunan tegangan lebih dengan arrester 2,4,6,8 dan 10

Berdasarkan grafik diatas diperoleh bahwa saat sambaran kawat tanah, persentase penurunan tegangan lebih transien setelah pemasangan arrester 1,3,5,7 dan 9 dititik sambaran dan titik sambungan saluran adalah sebesar 18,97 % dan 21,71 %. Sedangkan saat sambaran kawat fasa, persentase penurunan tegangan lebih transien yang terjadi setelah pemasangan arrester 1,3,5,7 dan 9 adalah sebesar 19,30 % dan 18,51 %.

Kemudian pada pemasangan arrester di tiang 2,4,6,8 dan 10 saat sambaran kawat tanah, persentase penurunan tegangan lebih transien setelah pemasangan arrester dititik sambaran dan titik sambungan saluran adalah sebesar 18,97 % dan 21,71 %. Sedangkan saat sambaran kawat fasa, persentase penurunan tegangan lebih transien yang terjadi setelah pemasangan arrester 2,4,6,8 dan 10 adalah sebesar 19,30 % dan 18,51 %.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan maka dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan lebih transien tertinggi terjadi saat kondisi petir menyambar kawat tanah dibandingkan dengan saat sambaran petir ke kawat fasa. Nilai tegangan lebih transien pada titik ukur (titik sambungan, ujung saluran dan titik tiang) akan menurun dengan bertambah besarnya jarak sambaran petir yang menyambar saat sambaran pada kawat fasa maupun sambaran pada kawat tanah dan penggunaan saluran *mixed-lines* 150 kV dapat meredam tegangan lebih transien akibat sambaran petir langsung. Kemudian Pemasangan

arrester pada tiang 2,4,6,8, dan 10 lebih efisien persentasi penurunan tegangan lebih yang terjadi diakibatkan oleh sambaran petir dibandingkan arrester di tiang 1,3,5,7 dan 9.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ametani, A. (2005) 'A method of a lightning surge analysis recommended in Japan using EMTP', *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2 I), pp. 867–875. doi: 10.1109/TPWRD.2004.839183.
- Dommel and Herman, W. (1996) *Electromagnetic Transient Program*. Canada: Vancouver.
- Fekete, K. *et al.* (2010) 'Simulation of lightning transients on 110 kV overhead-cable transmission line using ATP-EMTP', *Proceedings of the Mediterranean Electrotechnical Conference - MELECON*, pp. 856–861. doi: 10.1109/MELCON.2010.5475950.
- Heidler, F. (1999) 'Calculation of Lightning Current Parameters', 14(2), pp. 399–404.
- Hutahuruk, T. . (1986) *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Bandung: Erlangga.
- Lovrić, D., Vujević, S. and Modrić, T. (2014) 'Comparison of Different Metal Oxide Surge Arrester Models', (May).
- Pratomo, F. D. *et al.* (2011) 'Studi Tegangan Lebih Impuls Akibat Penggunaan Konfigurasi Mixed Lines (High Voltage Overhead - Cable Lines) 150 kV', pp. 1–7.