

# STUDI PENGARUH KORONA TERHADAP SURJA TEGANGAN LEBIH PADA SALURAN TRANSMISI 275 kV

Memory Hidyart <sup>(1)</sup>, Syahrawardi <sup>(2)</sup>

Konsentrasi Teknik Tenaga Listrik, Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)

Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA

email: [memoryhidyard@gmail.com](mailto:memoryhidyard@gmail.com)

## Abstrak

Pada tulisan ini, dianalisis bentuk tegangan impuls surja petir serta waktu mukanya sebelum dan sesudah mengalami efek korona. Selain itu juga dihitung nilai parameter-parameter saluran transmisi untuk mengetahui kemampuan redaman puncak tegangan surja petir oleh saluran. Kemampuan redaman tegangan transient akibat sambaran petir pada saluran dapat mencapai 18.29 % dari tegangan surja dengan pergeseran waktu muka menjadi 14.2  $\mu$ s. Hasil analisis membuktikan bahwa studi atenuasi dan perubahan waktu muka surja akibat korona dapat diatur dengan mengubah masing-masing nilai diameter konduktor, tinggi konduktor dari atas permukaan tanah, karakteristik surja petir, dan tingkat kekasaran permukaan konduktor.

**Kata Kunci: Korona, Atenuasi, Surja Petir, ATPDraw**

## 1. Pendahuluan

Saluran transmisi memegang peranan penting dalam proses penyaluran daya listrik dari pusat-pusat pembangkit hingga ke pusat-pusat beban. Agar dapat melayani kebutuhan tersebut maka diperlukan sistem transmisi tenaga listrik yang handal dengan tingkat keamanan yang memadai. Saluran transmisi menggunakan tegangan tinggi sebagai tegangan kerja nominal, sehingga pada saluran transmisi diperlukan perlakuan khusus dalam upaya menjaga sistem bekerja dengan maksimal dan minim gangguan. Kerusakan pada sistem tenaga listrik dapat disebabkan oleh gangguan internal berupa korona maupun gangguan eksternal berupa sambaran surja tegangan lebih. Salah satu penyebab terjadinya kerusakan tenaga listrik adalah sambaran surja petir dan peristiwa korona. Korona pada saluran transmisi memiliki kemampuan atenuasi (redaman) tersendiri. Atenuasi akibat korona akan berdampak terhadap kemampuan saluran untuk mampu meredam surja petir yang merambat sepanjang saluran transmisi.

## 2. Studi Pustaka

Secara umum saluran transmisi merupakan salah satu bagian dari komponen sistem transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk mengalirkan atau mengirim tenaga listrik dari suatu tempat ke tempat lain, misalnya dari pembangkit ke sistem distribusi pada sistem tenaga listrik. Adapun parameter-parameter saluran transmisi antara lain:

### a. Resistansi

Resistansi penghantar saluran transmisi adalah penyebab terpenting dari rugi daya (*power loss*) pada saluran transmisi. Resistansi ( $R_0$ ) pada suatu konduktor dapat dinyatakan dalam persamaan 1:

$$R_0 = \rho \frac{l}{A} \quad \text{Ohm} \quad (1)$$

Dimana:

$\rho$  = Resistivitas Penghantar (Ohm.m)

$l$  = Panjang (m)

$A$  = Luas Penampang ( $\text{m}^2$ )

### b. Induktansi

Persamaan umum yang digunakan untuk menentukan besarnya induktansi saluran adalah [1]:

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_m}{D_s} \quad \text{H} \quad (2)$$

Dimana:

$L$  = Induktansi saluran (H/m)

$D_m$  = Ekuivalen atau *geometric mean distance* (GMD) antara konduktor dengan tanah (m)

$D_s$  = Geometric Mean Radius (GMR) pada konduktor (m)

(0.7788 x jari-jari konduktor)

### c. Kapasitansi

Kapasitansi saluran transmisi adalah akibat adanya beda potensial antar penghantar (konduktor) maupun antara penghantar terhadap permukaan tanah. Persamaan umum untuk mencari nilai kapasitansi antara

konduktor dengan *ground* dapat dirumuskan dengan persamaan 3 [1]:

$$C = \frac{0.02413}{\log \frac{2h}{r}} \left( \frac{\mu F}{km} \right) \quad (3)$$

Dimana:

H = Jarak antara konduktor dengan tanah (m)

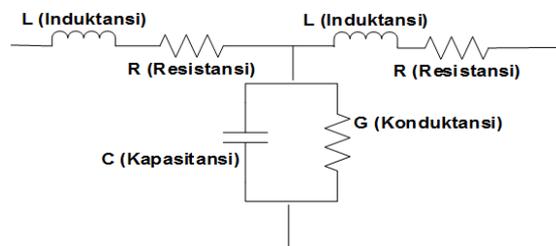
r = Radius Konduktor (cm)

d. Konduktansi

Konduktansi (G) pada saluran transmisi berhubungan langsung terhadap arus bocor pada isolator-isolator saluran transmisi. Alasan untuk mengabaikan konduktansi pada saluran transmisi adalah karena konduktansi ini selalu berubah-ubah

yakni kebocoran pada isolator yang merupakan sumber utama. Konduktansi berubah dengan cukup besar terhadap atmosfer sekitar dan kotoran yang terkumpul pada isolator sepanjang saluran transmisi.

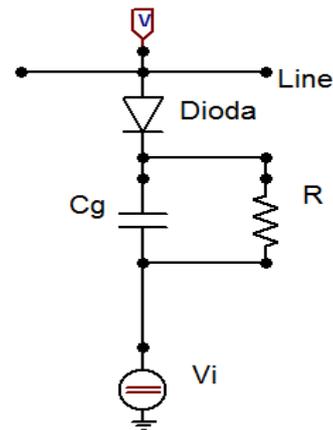
Saluran transmisi hantaran udara maupun saluran kabel bawah tanah dapat direpresentasikan sebagai rangkaian konstanta yang terdistribusi merata sepanjang saluran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Ekuivalen Transmisi Terdistribusi Merata [2]

Korona adalah lucutan elektrostatik yang disebabkan ionisasi fluida yang mengelilingi sebuah konduktor, yang terjadi saat gradient potensial (kekuatan medan listrik) melebihi kekuatan dielektrik medium udara disekitarnya.

Pada analisis penelitian ini, pemodelan korona dilakukan dengan menggunakan *software ATPDraw* dengan komponen penyusun dasar terdiri dari dioda, resistor, kapasitor dan sumber tegangan dc ( $V_i$ ), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Korona [3]

Resistor merepresentasikan energi hilang (*Joule Losses*) yang terjadi selama transfer energi dari sisi pembangkit menuju sisi penerima, kapasitor merepresentasikan perubahan kapasitansi sepanjang saluran, sementara sumber DC pada rangkaian ini merepresentasikan tegangan awalan terjadinya korona (*corona inception voltage*). Sedangkan Dioda berfungsi untuk mencegah terjadinya *charging* muatan awal dari kapasitor menuju saluran. Menurut *Carneiro and Marti* (1991) pemodelan korona dibagi menjadi beberapa jumlah bagian yang dirangkai seri sepanjang saluran dengan jarak antara 50 m – 100 m untuk mendapatkan pemodelan yang optimal.

Tegangan kritis disruptif ( $V_i$ ) merupakan tegangan minimal yang dibutuhkan untuk terjadinya ionisasi pertama kali dipermukaan konduktor, hal ini dirumuskan oleh persamaan 4:

$$V_i = r E_c \ln \frac{2H}{r} (kV) \quad (4)$$

Dimana  $E_c$  adalah gradient tegangan permukaan konduktor dalam (kV/cm) yang dapat dihitung dari persamaan empiris oleh Peek (2007) seperti pada persamaan 5 [5]:

$$E_c = 30m\delta^{0.67} \left( 1 + \frac{0.3}{\sqrt{\delta r}} \right) kV cm^{-1} Peek \quad (5)$$

Dimana:

$\delta$  = Faktor kepadatan udara relatif (bernilai 1 untuk medium udara)

$m_0$  = Kondisi permukaan konduktor [1]

= 1 untuk permukaan licin

= 0.93-0.98 untuk permukaan kasar, dan

= 0.82-0.87 untuk kawat *stranded*

Konduktor berkas adalah konduktor yang terdiri dari dua konduktor atau lebih yang dipakai sebagai konduktor satu fasa dan dipisahkan oleh suatu alat yang disebut dengan *spacer* dengan jarak sebesar A cm. Penggunaan konduktor berkas bertujuan untuk mengurangi risiko terjadinya korona dan meningkatkan kapasitas daya hantar saluran transmisi.

Untuk konduktor berkas (bundle), Skilling Dykes memberikan persamaan berikut agar dapat menentukan jari-jari ekuivalen (Req) konduktor [4]:

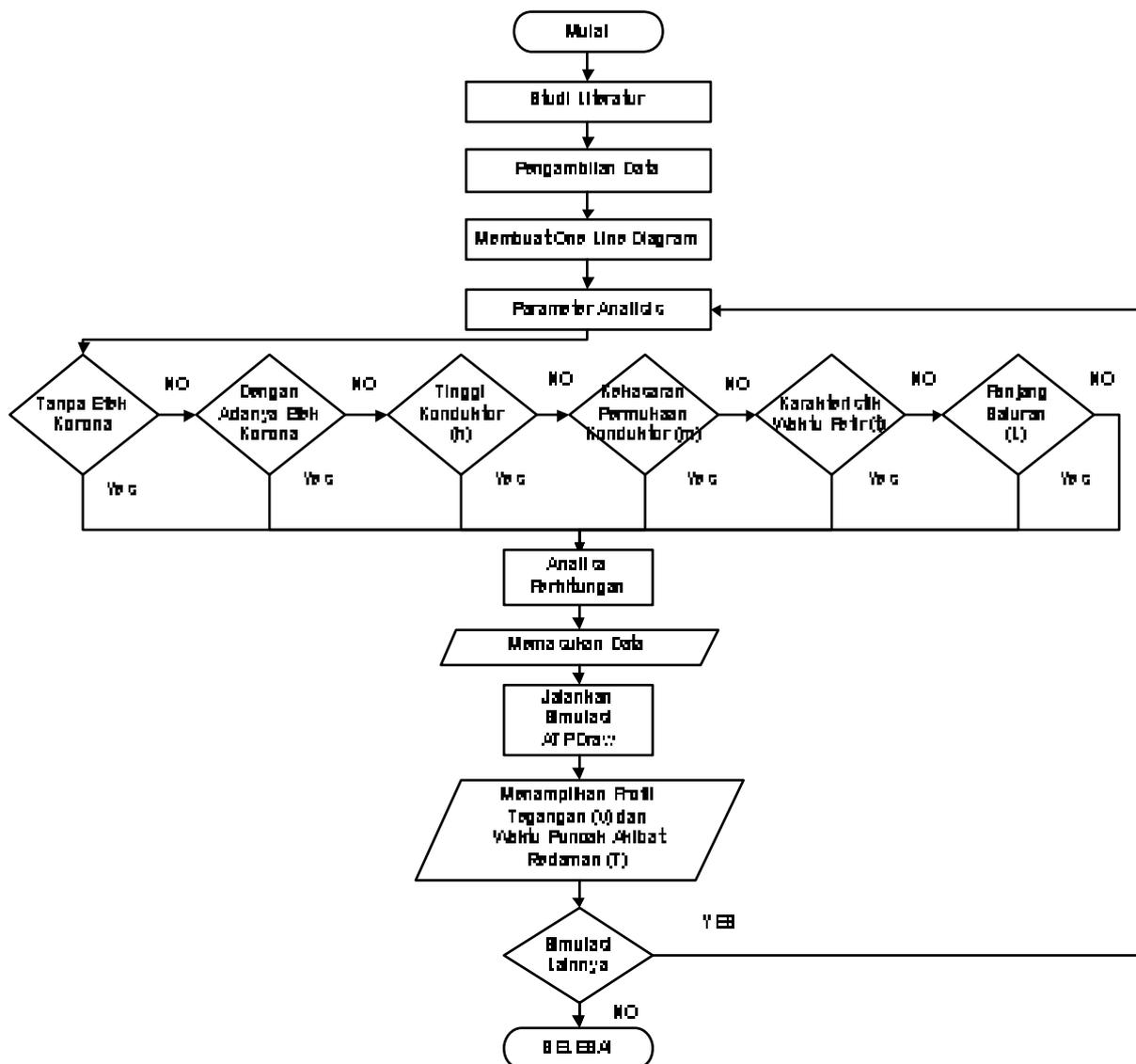
$$Req = \frac{nr}{1+2(n-1)\frac{\pi r}{nA}} \quad (6)$$

Dimana A adalah jarak antar subkonduktor dalam cm sedangkan n adalah jumlah berkas (*bundle*) yang digunakan pada saluran.

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada saluran transmisi 275 kV TRAGI Binjai-Pangkalan Susu. Studi pengaruh korona terhadap tegangan lebih saluran transmisi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ATPDraw yang dapat melakukan proses simulasi transien dengan hasil keluaran berupa grafik.

Secara garis besar proses yang akan dilakukan selama penelitian adalah pengambilan dan pengumpulan data yang diperlukan, melakukan simulasi perhitungan dengan menggunakan program komputer, dan melakukan simulasi lainnya dengan parameter-parameter yang divariasikan sesuai standar. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

**4. Hasil dan Pembahasan**

Gambar 4 menunjukkan representasi suatu saluran transmisi yang mengalami efek korona serta mendapat gangguan eksternal berupa sambaran surja petir langsung (*direct stroke*). Data spesifikasi saluran dan data menara yang diperoleh dari PLN TRAGI Binjai di jelaskan dalam Tabel 1:

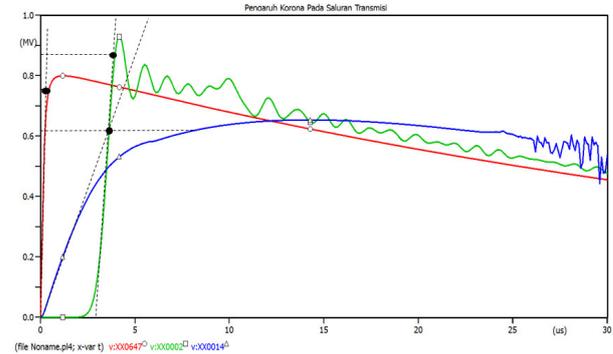
Tabel 1. Data Spesifikasi Saluran

Tegangan Nominal	275 kV
Tipe Konduktor	ACSR Zebra
Radius Konduktor	14.3 mm
Jumlah/Jarak Berkas	2/26 cm
Tinggi Rata-Rata Kond T	41.4 m
Tinggi Rata-Rata Kond S	33.95 m
Tinggi Rata-Rata Kond R	26.5 m

**A. Analisis Pengaruh Adanya Korona Pada Saluran Transmisi**

Pengaruh keberadaan korona pada saluran transmisi akan menentukan besarnya tegangan surja petir yang merambat sepanjang saluran transmisi tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5, yang menjelaskan bahwa surja petir sebesar 800 kV yang diinjeksikan pada saluran akan mengalami redaman sebesar 18.29% akibat adanya korona, sementara waktu mukanya menjadi 14.2  $\mu$ s. Dengan mengabaikan pengaruh korona pada saluran, tegangan

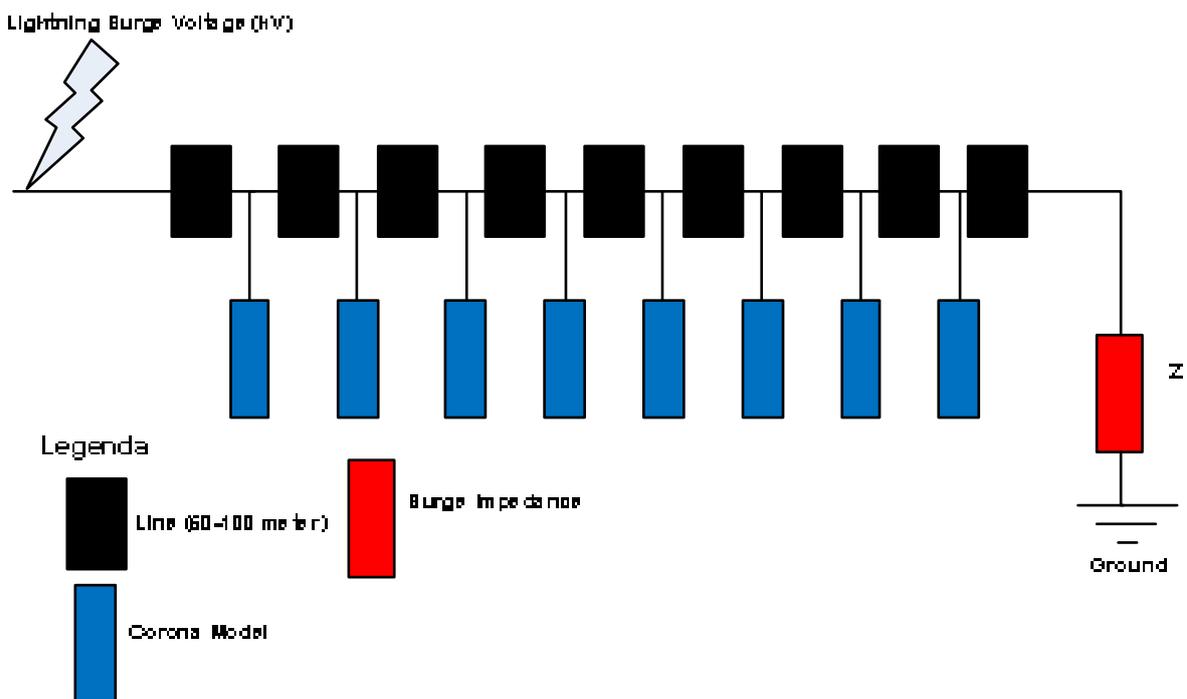
gangguan mengalami gejala transien hingga puncak tegangan menjadi 930.58 kV dengan waktu muka sebesar 4.2  $\mu$ s.



Gambar 5. Kurva respon saluran terhadap surja petir

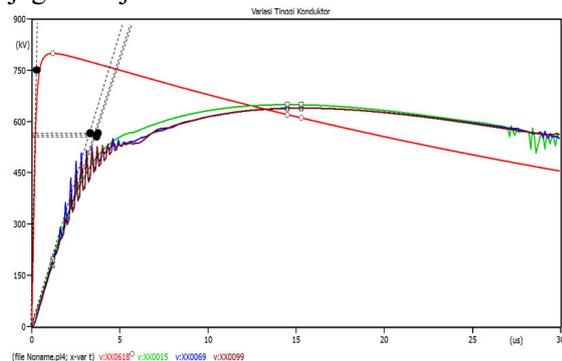
**B. Analisis Pengaruh Korona Variasi Ketinggian Konduktor**

Masing-masing fasa pada saluran transmisi memiliki tinggi konduktor diatas permukaan tanah yang berbeda-beda. Hal ini dimanfaatkan untuk memvariasikan ketinggian konduktor terhadap kemampuan redaman oleh korona. Konduktor pada fasa T dengan ketinggian 41.4 m dari permukaan tanah dapat meredam 18.29% tegangan puncak surja dengan waktu muka 14.2  $\mu$ s, sementara fasa S dengan ketinggian 33.95 m memiliki kemampuan redaman 19.23% dan fasa R sebesar 19.77%.



Gambar 4. Pemodelan korona pada saluran transmisi [5]

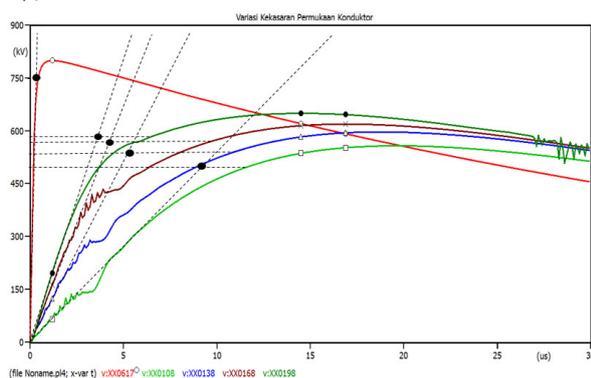
Gambar 6 menjelaskan semakin rendah ketinggian konduktor diatas permukaan tanah, maka semakin besar redaman yang dihasilkan sementara waktu untuk mencapai mukanya juga menjadi semakin lama.



Gambar 6. Kurva Respon Redaman Terhadap Variasi Tinggi Konduktor

C. Analisis Pengaruh Korona dengan Variasi Kekasaran Permukaan Konduktor

Permukaan konduktor dengan kekasaran permukaan yang berbeda-beda juga mempengaruhi besarnya korona yang terjadi pada saluran [2]. Semakin rendah nilai konstanta kekasaran menandakan bahwa konduktor tersebut memiliki permukaan yang lebih kasar. Pada konstanta 0.2 korona semakin mudah terjadi sehingga kemampuan redaman surja petir bernilai semakin besar yakni 27.58% dengan waktu muka 20.2  $\mu$ s. untuk konstanta kekasaran 0.8 sebagai indikasi permukaan konduktor yang lebih halus korona menghasilkan redaman 18.75% dan waktu muka 14.5  $\mu$ s, hal ini dapat dilihat pada Gambar 7.

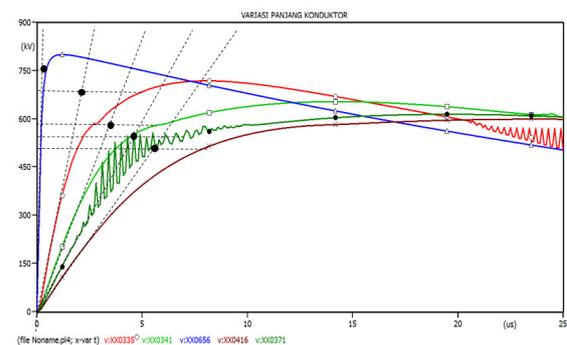


Gambar 7. Kurva Respon Redaman Terhadap Variasi Kekasaran Permukaan Konduktor

D. Analisis Pengaruh Korona dengan Variasi Panjang Saluran

Panjang saluran transmisi berhubungan dengan besarnya rugi-rugi korona sepanjang saluran. Semakin panjang saluran transmisi

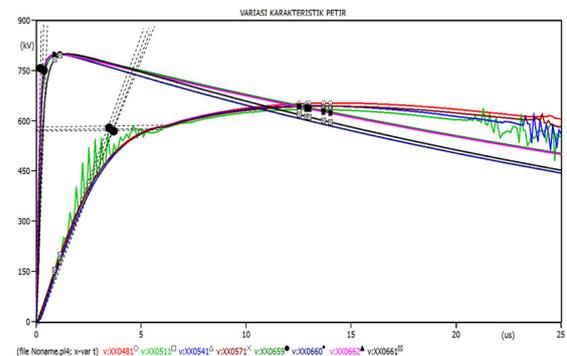
akan memperbesar *Joule Losses* serta memperbesar redaman puncak gangguan. Pada Gambar 8, ketika pengamatan dilakukan pada jarak 0.5 km dari titik gangguan korona mampu meredam 10.23% dari surja petir dan waktu muka menjadi 8.1  $\mu$ s. Untuk masing-masing jarak berikut dari titik gangguan 1 km, 1.5 km, dan 2 km kemampuan redaman saluran ialah meningkat yakni 18.29%, 23.22% dan 25.13%. besarnya peningkatan nilai persentase redaman sebanding dengan naiknya waktu muka surja pada saluran.



Gambar 8. Kurva Respon redaman terhadap Variasi panjang Saluran

E. Analisis Pengaruh Korona dengan Variasi Karakteristik Surja Petir

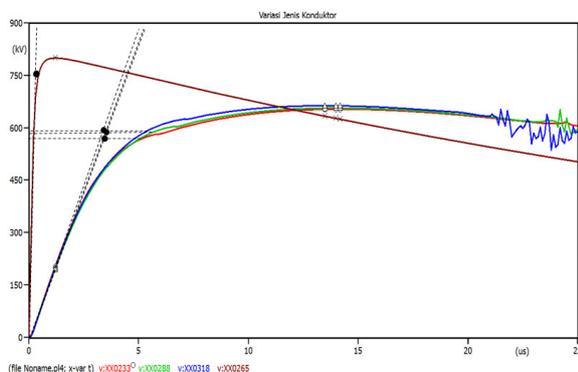
Surja petir dengan magnitud 800 kV yang diinjeksikan ke saluran akan divariasikan waktu muka dan waktu ekornya menurut beberapa standar yang ada. Dengan parameter saluran yang sama, Gambar 9 memperlihatkan redaman terbesar akibat pengaruh korona di peroleh dari surja petir yang divariasikan menurut standar Jepang yakni sebesar 20.69% dan waktu mukanya menjadi 13.04  $\mu$ s, sementara kemampuan korona untuk meredam surja petir bernilai paling kecil yakni 18.29% dan waktu mukanya menjadi 14.2  $\mu$ s, bila variasi surja yang digunakan adalah surja dengan karakteristik standar IEC.



Gambar 9. Kurva Respon Redaman Terhadap Variasi Karakteristik Surja Petir

#### F. Analisis Pengaruh Korona dengan Variasi Tipe Konduktor

Perubahan variasi tipe konduktor seperti pada Gambar 10 ditujukan untuk menganalisis pengaruh perubahan diameter konduktor terhadap kemampuan redaman (atenuasi) yang dihasilkan oleh korona. Konduktor dengan diameter terbesar yakni Moose ( $r=1.5885$ ) mampu meredam 17.05% dari surja petir dan waktu muka 13.4 $\mu$ s. Sementara tipe Zebra dengan diameter terkecil ( $r=1.43$ ) mampu meredam lebih besar dibandingkan Moose yakni 18.29% dari nilai 800kV surja petir yang diinjeksikan dan waktu muka 14.2 $\mu$ s. Dengan demikian semakin besar diameter konduktor semakin besar pula kemampuan redaman korona oleh saluran.



Gambar 10. Kurva Respon Redaman Terhadap Variasi Tipe Konduktor

### 5. Kesimpulan

Setelah memperoleh hasil analisis studi pengaruh korona terhadap surja tegangan lebih, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan memperkirakan pengaruh korona pada saluran transmisi, tegangan puncak surja 800kV mengalami peredaman sebesar 146.39 kV atau sebesar 18.29% dan waktu muka surja bergeser menjadi 14.2 $\mu$ s.
2. Penambahan nilai panjang saluran kuatitas rugi korona dan memperbesar kemampuan redaman.
3. Konduktor dengan diameter yang besar akan mempersulit proses terjadinya korona, sehingga kemampuan redaman surja tegangan lebih pada saluran akan semakin mengecil.
4. Semakin rendah konduktor dari atas permukaan tanah akan memperbesar kapasitansi saluran dan kemampuan redaman surja meningkat.

5. Konduktor dengan permukaan yang kasar memudahkan terjadinya korona, dan memperbesar kemampuan redaman.

### Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar, artono. Teknik tegangan tinggi. 2001. PT Pradnya Paramita
- [2] Gonen, Turan, Electric Power Transmission System Engineering: Analysis & Design, John Wiley and Sons, Inc Toronto, 1988
- [3] S.Carneiro, J.R. Marti, "Evaluation of corona and line models in electromagnetic transient simulation", IEEE Transactions on Power Delivery. Vol.6. No 3, pp 1420-1430, March 1981
- [4] Skilling, H.H. and P.K. Dykes, 1954. Distortion of traveling waves by corona AIEE Trans. Power Applied Syst, 73: 196-210
- [5] Ab Kadir, M,Z,A. (2008). "The Importance of Corona Effect in Lightning Surge Propagation Studies", Journal of Applied Sciences 8.