

# SIMULASI PENENTUAN NILAI TAHANAN PENTANAHAN MENARA TRANSMISI 150 KV TERHADAP BACKFLASHOVER AKIBAT SAMBARAN PETIR LANGSUNG

Rindu Putra Ambarita<sup>\*)</sup>, Yuningtyastuti, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>Email : [ambaritarindu@gmail.com](mailto:ambaritarindu@gmail.com)

## Abstrak

Tegangan lebih akibat sambaran petir pada saluran transmisi listrik merupakan salah satu penyebab gangguan yang dapat menimbulkan kegagalan proteksi, kerusakan jaringan listrik, dan peralatan tegangan rendah. Pada saluran transmisi 150kV gangguan yang sering terjadi adalah backflashover dikarenakan tegangan akibat sambaran petir langsung pada menara dan kawat tanah yang mengakibatkan tegangan pada kawat fasa meningkat. Besarnya nilai (amplitude) serta bentuk gelombang tegangan pada kawat fasa dipengaruhi oleh resistivitas tanah, resistansi pentanahan. Pemodelan saluran transmisi 150kV dan injeksikan sumber tegangan induksi maksimum pada titik sambaran di menara dan kawat tanah saluran transmisi dengan menggunakan program Alternative Transients Program. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan pada kawat fasa akan meningkat akibat sambaran petir langsung pada saluran transmisi 150kV yaitu 2133.3kV. Tegangan pada kawat fasa C akan naik apabila resistivitas tanah dan resistansi pentanahan naik, nilai tegangan tertinggi pada tanah berbatu sebesar 2286kV. Saat letak titik sambaran pada kawat tanah nilai tegangan pada kawat fasa 2594kV lebih besar saat sambaran di menara transmisi yaitu 2286kV. Pada konstruksi menara dua kawat tanah tegangan kawat fasa 2286kV lebih rendah dibandingkan satu kawat tanah yaitu 2900kV. Sedangkan saat kawat tanah terhubung langsung ke tanah, nilai tegangan 2637kV lebih rendah dibanding saat kawat tanah menempel di menara yaitu 2900kV.

*Kata Kunci : Sambaran langsung, jaringan transmisi 150 kV, Parameter proteksi, ATP (Alternative Transients Program).*

## Abstract

Lightning overvoltage occurred on voltage transmission line can cause damage to power systems, failure protection, and low voltage equipment. In transmission line 150kV, damage is most frequent is due to direct stroke in ground wire and transmission's tower which cause backflashover so that voltage in phase wire increase. The amplitude and wave shapes of lightning voltage are affected by: soil resistivity, grounding resistance. Model of transmission line 150kV which was injected by lightning voltage through ground wire and tower by using Alternative Transient Program. The simulation results showed that the voltage on phase wire would increase up to 2133.3kV due to direct lightning strike on a transmission line 150kV. The voltage of phase wire was increase when soil resistivity and ground resistance increase. The highest voltage value is on rock ground at 2286kV. When the lighting the ground wire, the value voltage of phase wire was 2594kV greater than the strike to transmission's tower in voltage value of 2286kV. As the construction of the tower using two ground wire, the voltage in phase wire during lighting stroke was 2286kV and it is lower when it compared to the lighting strike to tower with one ground wire (2900kV). When the ground wire is connected directly to ground, the voltage is 2637kV and it was lower than the ground wire connected directly to the tower (2900kV).

*Kata Kunci : direct lightning, transmission line 150 kV, parameters protection, ATP (Alternative Transients Program).*

## 1. Pendahuluan

Indonesia merupakan daerah tropik dimana hari guruh per tahun relatif lebih tinggi dibandingkan dengan negara lain seperti di Amerika dan Eropa. Tingkat hari guruh per tahun di Indonesia adalah 100 sampai 200[2]. Kisaran ini

menunjukkan adanya kecenderungan jumlah sambaran petir yang tinggi pada daerah Indonesia. Pada sistem tenaga listrik, sambaran petir sering sekali terjadi terutama pada saluran transmisi. Sambaran petir pada saluran transmisi dapat mengakibatkan banyak gangguan. Gangguan akibat sambaran tidak langsung sering terjadi

pada saluran transmisi 20 kV sedangkan untuk saluran tegangan 150 kV sampai 500 kV gangguan sering terjadi akibat sambaran langsung. Salah satu gangguan yang sering terjadi adalah *backflashover* yang diakibatkan sambaran langsung pada menara dan kawat tanah (*ground wire*)[1]. Oleh karena itu diperlukan sistem untuk melindungi saluran transmisi tersebut dari sambaran petir. Sistem perlindungan saluran transmisi ada beberapa cara yaitu perlindungan terhadap kawat fasa untuk mengantisipasi akibat adanya sambaran langsung dari petir, digunakan satu atau dua kawat tanah yang terletak di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan kurang dari 180[3]. Sedangkan untuk mengurangi tahanan kaki menara harus dilakukan pendekatan tahanan nilai kaki menara tidak melebihi 10 Ω[10].

Untuk merencanakan suatu sistem pentanahan terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan, antara lain tahanan jenis tanah, struktur tanah, keadaan lingkungan, biaya, ukuran dan bentuk sistemnya. Pada umumnya tahanan jenis tanah yang memiliki nilai lebih rendah sangat efektif. Pada setiap wilayah, memiliki struktur tanah yang berbeda sifat geologinya. Sistem pentanahan pada kaki menara perlu diperbaiki karena hal-hal sebagai berikut : Seringnya terjadi gangguan akibat sambaran petir; Bervariasinya kondisi tanah pada sekitar kaki menara saluran transmisi; Perubahan iklim setiap tahunnya sehingga mempengaruhi resistansi tanah.

Pada penelitian ini, akan menganalisis sambaran langsung pada menara dan kawat tanah (*ground wire*) saluran transmisi 150 kV. Penelitian ini akan melihat perubahan nilai tegangan terhadap perubahan resistansi pentanahan, dimana nilai resistansi pentanahan dipengaruhi oleh nilai resistivitas jenis tanah. Adapun jenis tanah yang di terapkan pada tugas akhir yaitu : tanah rawa, tanah ladang, tanah liat, tanah pasir basah, tanah kerikil basah, tanah pasir kering, tanah kerikil kering dan tanah berbatu. Perhitungan nilai tegangan akibat sambaran langsung menggunakan ATPDraw.

## 2. Metode

### 2.1. Pengumpulan Data Saluran Transmisi

Data spesifikasi saluran transmisi didapat dari PT.PLN persero. Data yang diperoleh berupa data menara dan kawat penghantar pada kawat fasa dan kawat tanah. Berikut adalah spesifikasi menara transmisi :

Tabel 1. Spesifikasi menara transmisi

| Spesifikasi                             | Panjang (meter) |
|---|-----------------|
| Tinggi menara                           | 50,1            |
| Lebar menara                            | 10,4            |
| Jarak antar lengan menara               | 5               |
| Jarak lengan kawat fasa dan kawat tanah | 4,1             |
| Panjang lengan menara kawat fasa        | 4,435           |

Tabel 1 (lanjutan)

| Spesifikasi                         | Panjang (meter) |
|-------------------------------------|-----------------|
| Panjang lengan menara kawat tanah   | 3,385           |
| Jari-jari lengan menara kawat fasa  | 1,4             |
| Jari-jari lengan menara kawat tanah | 1,35            |

untuk data saluran penghantar kawat fasa adalah sebagai berikut :

Tabel 2. spesifikasi data penghantar ACSR

| No | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Diameter (mm) | Lilitan (Al/St) | Resistansi (ohm/km) | Reaktansi (ohm/km) |
|----|-----------------------------------|---------------|-----------------|---------------------|--------------------|
| 1  | 242                               | 21.9          | 26/7            | 0.1218              | 0.2971             |

untuk data saluran penghantar kawat tanah adalah sebagai berikut :

Tabel 3. Spesifikasi data penghantar aluminium clad steel wire

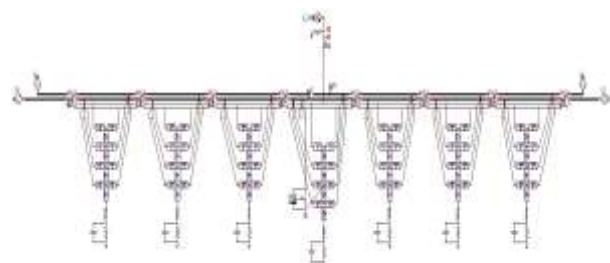
| No | Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Diameter (mm) | Resistansi (ohm/km) | Reaktansi (ohm/km) |
|----|-----------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|
| 1  | 67                                | 11.35         | 0.4363              | 0.4063             |

Tabel 4. Tahanan Jenis Tanah [5]

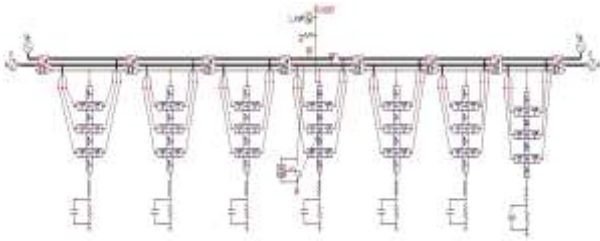
| Jenis Tanah                    | Tahanan Jenis Tanah (Ω-m) |
|--------------------------------|---------------------------|
| Tanah Rawa                     | 30                        |
| Tanah Liat dan Tanah Ladang    | 100                       |
| Pasir Basah                    | 200                       |
| Kerikil Basah                  | 500                       |
| Tanah Pasir dan Kerikil kering | 1000                      |
| Tanah Berbatu                  | 3000                      |

### 2.2. Pemodelan Jaringan

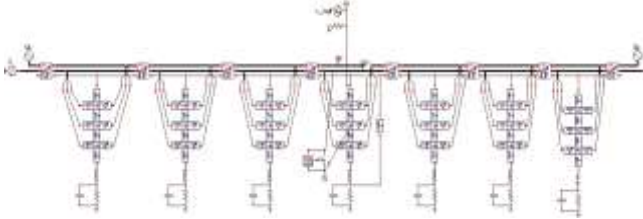
Pemodelan saluran transmisi akan dimodelkan dengan komponen-komponen yang ada dalam ATPDraw. Komponen-komponen saluran transmisi yang dimodelkan diantara lain adalah saluran transmisi, menara transmisi, sumber tegangan induksi sambaran petir, serta pemodelan *backflashover*. Berikut adalah pemodelan saluran transmisi:



Gambar 1. Pemodelan Saluran Transmisi dua Kawat Tanah



Gambar 2. Pemodelan Saluran Transmisi satu Kawat Tanah



Gambar 3. pemodelan kawat tanah dipararelkan langsung ke sistem pentanahan

### 3. Hasil dan Analisa

#### 3.1. Perhitungan Resistansi Pentanahan

Pada perhitungan resistansi pentanahan menara digunakan elektroda dengan panjang 11 feet (3.35 meter), diameter 2.9 cm dengan jarak antar elektroda sebesar 11,7 meter, yang disusun secara persegi. Perhitungan resistansi menara dengan jenis tanah sebagai berikut [6][7]:

Nilai Resistansi :

$$R = \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot n \cdot L} \left( \ln \frac{2L}{\sqrt[4]{2^{0.5} \cdot s^3 \cdot r}} \right) \quad (1)$$

$$R = 0.366 \text{ Ohm}$$

Nilai Induktansi :

$$L = 2l \left( \ln \left( \frac{4l}{\sqrt[4]{2^{1/2} \cdot s^3 \cdot r}} \right) \times 10^{-7} \right) \quad (2)$$

$$L = 12.1 \times 10^{-7} \text{ Henry}$$

Nilai Kapasitansi

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot l}{18 \ln \frac{4l}{\sqrt[4]{2^{0.5} \cdot s^3 \cdot r}}} \quad (3)$$

$$C = 10.8 \times 10^{-10} \text{ Farad}$$

Dengan cara yang sama didapat hasil perhitungan resistansi pentanahan sebagai berikut:

Tabel 5. Perhitungan nilai resistansi pentanahan

| No | Jenis tanah                    | Resistivitas Jenis Tanah (Ohm-m) | Resistansi Pentanahan (Ohm) |
|----|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1  | Tanah rawa                     | 30                               | 0.366                       |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                              | 1.22                        |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                              | 2.44                        |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                              | 6.1                         |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                             | 12.2                        |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                             | 36.6                        |

dapat dilihat tabel 5, Semakin besar nilai resistivitas jenis tanah maka kemampuan sistem pentanahan untuk memperoleh nilai resistansi pentanahan yang rendah akan semakin buruk.

#### 3.2. Perhitungan Manual nilai tegangan

Nilai tegangan pada kawat fasa dapat dihitung sebagai berikut [3]:

$$V = e_0 \left\{ \begin{aligned} & \left[ (1-K)T + d \left[ \left\{ T - 2 \left( \frac{h_t - X_1}{c} \right) \right\} + (b - Ka) \left( T - \frac{2h_t}{c} \right) \right] \right] \\ & + d^2 b \left[ \left\{ T - 2 \left( \frac{2h_t - X_1}{c} \right) \right\} + (b - Ka) \left( T - \frac{4h_t}{c} \right) \right] + \\ & d^3 b^2 \left[ \left\{ T - 2 \left( \frac{3h_t - X_1}{c} \right) \right\} + (b - Ka) \left( T - \frac{6h_t}{c} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Dimana,

$X_1$  = Jarak vertical antara kawat fasa paling bawah dengan puncak menara (meter)

$T$  = Waktu muka gelombang petir

$C$  = Kecepatan merambat gelombang (300 meter per mikrodetik)

$A$  = koefisien terusan pada puncak menara untuk gelombang yang datang dari dasar menara

$b$  = koefisien pantulan pada puncak menara untuk gelombang yang datang dari dasar menara

$d$  = koefisien pantulan pada dasar menara untuk gelombang yang datang dari puncak menara

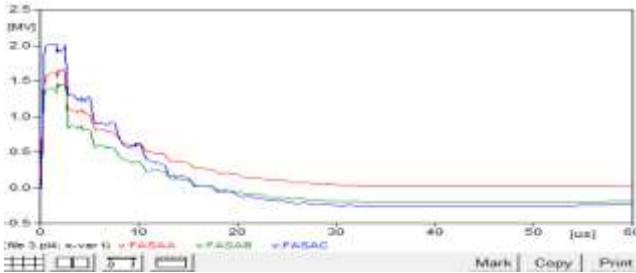
$h_t$  = tinggi menara (meter)

$K$  = faktor gandengan antara kawat fasa dan kawat tanah

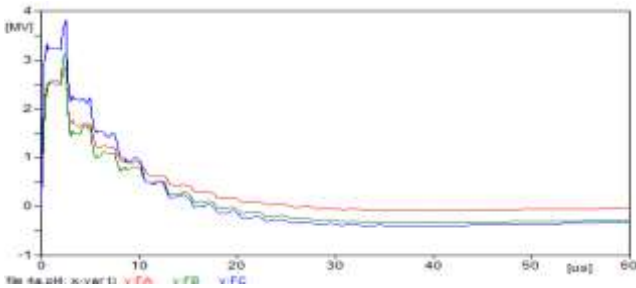
maka dengan persamaan 4 didapat hasil perhitungan pada tabel 6 dan tabel 7, dapat dilihat kenaikan resistansi pentanahan dipengaruhi oleh meningkatnya nilai resistivitas jenis tanah. Kenaikan resistansi pentanahan ini yang akan mempengaruhi nilai tegangan. Nilai tegangan semakin meningkat ketika nilai resistansi pentanahan meningkat, hal ini di karenakan koefisien pantulan pada dasar menara ( $d$ ) akan semakin kecil apabila nilai resistansi pentanahan semakin meningkat.

### 3.3. Simulasi Sambaran Petir Langsung Pada Saluran Transmisi

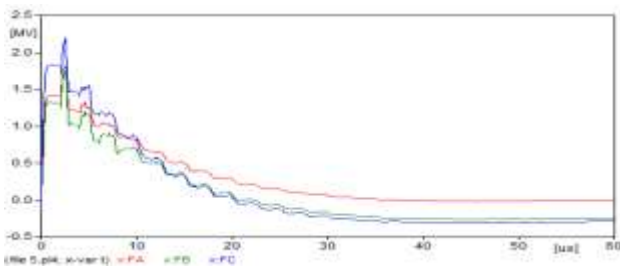
Sambaran petir langsung pada saluran transmisi ini disimulasikan pada 3 jenis konstruksi menara yaitu menara dengan satu kawat tanah, dua kawat tanah dan kawat tanah yang langsung terhubung ke sistem pentanahan dengan pemodelan seperti gambar 4, gambar 5, dan gambar 6. Berikut adalah gelombang hasil simulasi pada jenis tanah rawa:



Gambar 4. Gelombang mula tegangan saat sambaran dimenara pada saluran dengan dua kawat tanah



Gambar 6. Gelombang mula tegangan saat sambaran dikawat tanah pada saluran dengan satu kawat tanah



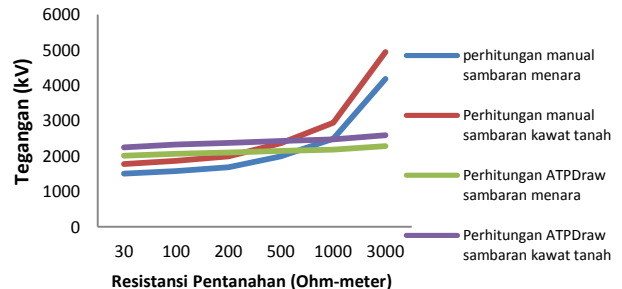
Gambar 7. Gelombang mula tegangan saat sambaran dimenara pada saluran dengan kawat tanah yang terhubung langsung kesistem pentanahan

Nilai tegangan pada fasa C lebih besar dari fasa A dan B, oleh karena itu fasa C akan terlebih dahulu mengalami flash akibat fenomena backflashover. Pada saat terjadi backflashover, arus yang besar akan mengalir pada titik sambaran, sehingga terjadi perubahan impedansi penghantar (seperti kawat tanah dan kawat fasa) pada daerah titik sambaran. Perubahan impedansi kawat tanah

dan kawat fasa akan mempengaruhi besar impedansi surja bersama antara kedua kawat, sehingga mempengaruhi nilai faktor gandengan antara kawat fasa dan kawat tanah. Semakin kecil nilai faktor gandengan maka semakin besar tegangan yang mengalir pada kawat fasa tersebut.

### 3.4. Rekapitulasi perhitungan Tegangan Kawat Fasa antara Atpdraw dengan Perhitungan Manual pada Menara Dua Kawat Tanah

Hasil rekapitulasi nilai tegangan di tinjau pada kawat fasa C dan letak titik sambaran yaitu pada menara dan kawat tanah. Pada tabel 8, dapat dilihat hasil rekapitulasi perhitungan tegangan pada ATPDraw dan perhitungan manual pada menara yang memiliki dua kawat tanah. Tegangan saat terjadi sambaran pada menara lebih kecil dibandingkan tegangan saat terjadi sambaran pada kawat tanah, hal ini dikarenakan impedansi surja kawat tanah lebih tinggi dibandingkan impedansi surja menara. Pada jenis tanah rawa dengan resistivitas tanah 30 ohm-meter memiliki nilai resistansi pentanahan 0,366 ohm, pada perhitungan manual tegangan kawat fasa saat sambaran pada menara 1502,199 kV dan sambaran pada kawat tanah 1778,056kV sedangkan dengan perhitungan ATPDraw, tegangan saat sambaran pada menara 2012 kV (selisih tegangan sebesar 509,80kV) dan saat sambaran pada kawat tanah 2248 kV (selisih tegangan 469,94 kV).



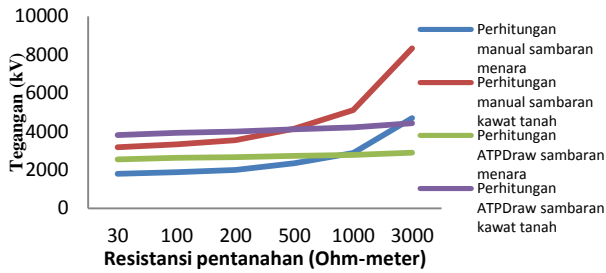
Gambar 8. Grafik rekapitulasi tegangan perhitungan manual dengan ATPdraw dua kawat tanah

Dari gambar 12 terlihat bahwa nilai tegangan dari kedua hasil perhitungan akan semakin bertambah apabila nilai resistivitas tanah dan resistansi pentanahan semakin bertambah.

### 3.5. Rekapitulasi perhitungan Tegangan Kawat Fasa antara Atpdraw dengan Perhitungan Manual pada Menara Satu Kawat Tanah

Hasil rekapitulasi nilai tegangan di tinjau pada kawat fasa C dan letak titik sambaran yaitu pada menara dan kawat tanah. Pada tabel 9, tegangan saat terjadi sambaran pada menara lebih kecil dibandingkan tegangan saat terjadi sambaran pada kawat tanah, hal ini dikarenakan impedansi surja kawat tanah lebih tinggi dibandingkan impedansi surja menara. Pada jenis tanah rawa dengan resistivitas tanah 30 ohm-meter memiliki nilai resistansi

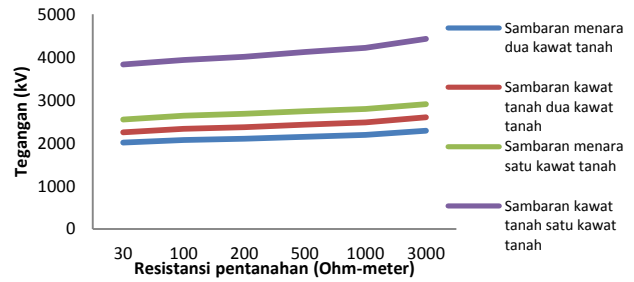
pentanahan 0,366 ohm, pada perhitungan manual tegangan kawat fasa saat sambaran pada menara 1802,194 kV dan sambaran pada kawat tanah 3190,655 kV sedangkan dengan perhitungan ATPDraw 2547 kV (perbedaan sebesar 744.806 kV) saat sambaran pada menara dan 3825 kV (perbedaan sebesar 634,34 kV) saat sambaran pada kawat tanah.



Gambar 9. Grafik rekapitulasi tegangan perhitungan manual dengan ATPdraw satu kawat tanah

### 3.6. Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Kawat Fasa pada Menara Satu Kawat Tanah dan Dua Kawat Tanah

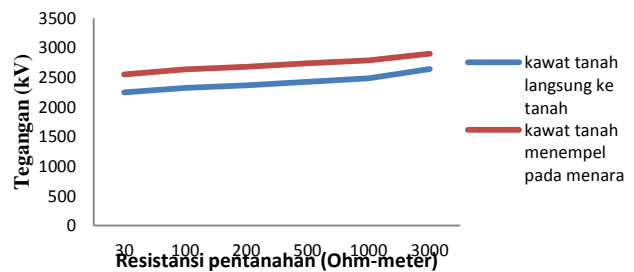
Hasil rekapitulasi nilai tegangan di tinjau pada kawat fasa C dikarenakan kawat fasa C terlebih dahulu mengalami flash dari pada kawat fasa A dan B. Pada tabel 10, nilai tegangan pada satu kawat tanah memiliki tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan saat sambaran pada dua kawat tanah. Hal ini dikarenakan, nilai faktor gandengan antara kawat tanah dengan kawat fasapada menara dengan satu kawat tanah lebih kecil dibanding menara dua kawat tanah. Nilai tegangan juga dipengaruhi oleh nilai impedansi kawat tanah dengan satu kawat tanah memiliki impedansi lebih besar dari pada dengan dua kawat tanah. Semakin besar nilai impedansi maka tegangan akan semakin besar.



Gambar 10. Grafik rekapitulasi tegangan perhitungan simulasi antara satu kawat tanah dan dua kawat tanah

### 3.7. Rekapitulasi Perhitungan Tegangan Kawat Fasa Antara Saluran dengan Kawat Tanah Langsung Ketanah Dengan Kawat Tanah yang Menempel Dengan Menara

Pada tabel 11, dapat dilihat perbandingan nilai tegangan yang kawat tanahnya menempel pada menara dan yang langsung ke sistem pentanahan. Nilai tegangan pada saat kawat tanah langsung ke tanah lebih kecil dibandingkan dengan nilai tegangan yang menggunakan sistem kawat tanah yang menempel pada menara. Hal ini dikarenakan kawat tanah langsung ke tanah memiliki nilai impedansi yang lebih kecil dibandingkan dengan impedansi kawat tanah yang menempel pada menara. Hal ini diperjelas oleh grafik pada gambar 4.35.



Gambar 11. Perbandingan nilai tegangan antara kawat tanah langsung ke tanah dan menempel ke menara

Tabel 6. Perhitungan Nilai Tegangan saat terjadi sambaran petir pada dua kawat tanah

| No | Jenis tanah                    | Resistivitas Jenis Tanah (Ohm-m) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan Sambaran menara (kV) |          |          | Tegangan Sambaran Kawat Tanah (kV) |          |          |
|----|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------------------|----------|----------|
|    |                                |                                  |                             | Fasa A                        | Fasa B   | Fasa C   | Fasa A                             | Fasa B   | Fasa C   |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                               | 0.366                       | 1131.599                      | 1347.753 | 1502.199 | 1339.402                           | 1595.249 | 1778.056 |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                              | 1.22                        | 1196.386                      | 1418.814 | 1577.741 | 1416.085                           | 1679.359 | 1867.471 |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                              | 2.44                        | 1287.872                      | 1519.16  | 1684.415 | 1524.372                           | 1798.133 | 1993.734 |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                              | 6.1                         | 1555.044                      | 1812.202 | 1995.927 | 1840.606                           | 2144.987 | 2362.452 |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                             | 12.2                        | 1977.438                      | 2275.483 | 2488.389 | 2340.567                           | 2693.343 | 2945.347 |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                             | 36.6                        | 3426.429                      | 3864.599 | 4177.404 | 4055.645                           | 4574.279 | 4944.526 |

Tabel 7. Perhitungan Nilai Tegangan saat terjadi sambaran petir pada satu kawat tanah

| No | Jenis tanah                    | Resistivitas Jenis Tanah (Ohm-m) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan Sambaran menara (kV) |          |          | Tegangan Sambaran Kawat Tanah (kV) |          |          |
|----|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------|----------|------------------------------------|----------|----------|
|    |                                |                                  |                             | Fasa A                        | Fasa B   | Fasa C   | Fasa A                             | Fasa B   | Fasa C   |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                               | 0.523                       | 1763.25                       | 1784.885 | 1802.194 | 3121.707                           | 3160.011 | 3190.655 |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                              | 1.74                        | 1846.301                      | 1868.342 | 1885.975 | 3268.743                           | 3307.766 | 3338.984 |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                              | 3.48                        | 1963.405                      | 1986.017 | 2004.108 | 3476.067                           | 3516.101 | 3548.129 |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                              | 8.71                        | 2304.215                      | 2328.492 | 2347.914 | 4079.447                           | 4122.428 | 4156.813 |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                             | 17.4                        | 2839.497                      | 2866.391 | 2887.905 | 5027.125                           | 5074.738 | 5112.829 |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                             | 28                          | 4643.474                      | 4679.204 | 4707.787 | 8220.938                           | 8284.194 | 8334.799 |

Tabel 8. Rekapitulasi perhitungan nilai tegangan kawat fasa menggunakan ATPDraw dengan perhitungan manual pada menara dua kawat tanah

| No | Jenis Tanah                    | Resistivitas Tanah (Ohm-Meter) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan Perhitungan(Kv) |                      | Tegangan Hasil Simulasi (Kv) |                      |
|----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
|    |                                |                                |                             | Sambaran Menara          | Sambaran Kawat Tanah | Sambaran Menara              | Sambaran Kawat Tanah |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                             | 0.366                       | 1502.199                 | 1778.056             | 2012                         | 2248                 |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                            | 1.22                        | 1577.741                 | 1867.471             | 2070                         | 2327                 |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                            | 2.44                        | 1684.415                 | 1993.734             | 2101                         | 2370                 |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                            | 6.1                         | 1995.927                 | 2362.452             | 2145                         | 2427                 |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                           | 12.2                        | 2488.389                 | 2945.347             | 2186                         | 2476                 |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                           | 36.6                        | 4177.404                 | 4944.526             | 2286                         | 2594                 |

Tabel 9. Rekapitulasi tegangan pada kawat fasa ATPDraw dengan perhitungan manual satu kawat tanah

| No | Jenis Tanah                    | Resistivitas Tanah (Ohm-Meter) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan Perhitungan (Kv) |                      | Tegangan Hasil Simulasi (Kv) |                      |
|----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|
|    |                                |                                |                             | Sambaran Menara           | Sambaran Kawat Tanah | Sambaran Menara              | Sambaran Kawat Tanah |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                             | 0.366                       | 1802.194                  | 3190.655             | 2547                         | 3825                 |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                            | 1.22                        | 1885.975                  | 3338.984             | 2634                         | 3928                 |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                            | 2.44                        | 2004.108                  | 3548.129             | 2677                         | 4008                 |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                            | 6.1                         | 2347.914                  | 4156.813             | 2738                         | 4116                 |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                           | 12.2                        | 2887.905                  | 5112.829             | 2788                         | 4212                 |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                           | 36.6                        | 4707.787                  | 8334.799             | 2900                         | 4426                 |

Tabel 10. Rekapitulasi tegangan kawat fasa pada menara satu kawat tanah dan dua kawat tanah

| No | Jenis Tanah                    | Resistivitas Tanah (Ohm-Meter) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan Simulasi Pada Dua Kawat Tanah (Kv) |                      | Tegangan Simulasi Pada Satu Kawat Tanah (Kv) |                      |
|----|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|---|----------------------|--|----------------------|
|    |                                |                                |                             | Sambaran Menara                             | Sambaran Kawat Tanah | Sambaran Menara                              | Sambaran Kawat Tanah |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                             | 0.366                       | 2012  | 2248                 | 2547   | 3825                 |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                            | 1.22                        | 2070  | 2327                 | 2634   | 3928                 |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                            | 2.44                        | 2101  | 2370                 | 2677   | 4008                 |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                            | 6.1                         | 2145  | 2427                 | 2738   | 4116                 |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                           | 12.2                        | 2186  | 2476                 | 2788   | 4212                 |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                           | 36.6                        | 2286  | 2594                 | 2900   | 4426                 |

Tabel 11. Perbandingan kawat tanah terhubung ke pentanahan dengan ke menara

| No | Jenis tanah                    | Resistivitas Jenis Tanah (Ohm-m) | Resistansi Pentanahan (Ohm) | Tegangan kawat tanah langsung ke tanah(kV) |        |        | Tegangan kawat tanah menempel ke menara (kV) |        |        |
|----|--------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|--|--------|--------|--|--------|--------|
|    |                                |                                  |                             | Fasa A                                     | Fasa B | Fasa C | Fasa A                                       | Fasa B | Fasa C |
| 1  | Tanah rawa                     | 30                               | 0.366                       | 1730                                       | 1861   | 2245   | 1927   | 2112   | 2547   |
| 2  | Tanah ladang                   | 100                              | 1.22                        | 1877                                       | 1925   | 2323   | 2101   | 2183   | 2634   |
| 3  | Tanah pasir basah              | 200                              | 2.44                        | 1954                                       | 1960   | 2365   | 2187   | 2221   | 2677   |
| 4  | Tanah kerikil basah            | 500                              | 6.1                         | 2049                                       | 2013   | 2424   | 2286   | 2275   | 2738   |
| 5  | Tanah pasir dan kerikil kering | 1000                             | 12.2                        | 2070                                       | 2065   | 2483   | 2362   | 2324   | 2788   |
| 6  | Tanah berbatu                  | 3000                             | 36.6                        | 2315                                       | 2230   | 2637   | 2510   | 2445   | 2900   |

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari analisis hasil perhitungan adalah :

1. Sambaran petir langsung pada menara dan kawat tanah pada saluran transmisi 150 kV dapat menimbulkan gangguan yang diakibatkan backflashover dimana gangguan tersebut dapat merusak peralatan yang ada pada sistem.
2. Pada tabel 5, hubungan antara resistivitas jenis tanah dengan nilai resistansi pentanahan adalah semakin besar nilai resistivitas jenis tanah maka nilai resistansi pentanahan akan semakin besar. Nilai resistansi pentanahan tertinggi terjadi pada jenis tanah berbatu sebesar 36.6 Ohm, sedangkan nilai induktansi dan kapasitansi tidak terpengaruhi oleh perubahan jenis tanah, hanya di pengaruhi oleh panjang elektroda.
3. Pada tabel B1 menunjukkan bahwa :
  - a. Hubungan antara resistansi pentanahan dengan nilai tegangan pada kawat fasa adalah semakin besar nilai resistansi pentanahan maka nilai tegangan pada kawat fasa akan semakin besar. Pada hasil perhitungan nilai tegangan tertinggi terjadi pada jenis tanah berbatu yaitu 2286kV dengan nilai resistansi pentanahan sebesar 36.6 Ohm pada menara dengan dua kawat tanah.
  - b. saat terjadi sambaran petir pada saluran transmisi 150 kV yang mengakibatkan terjadinya gangguan akibat backflashover, nilai tegangan pada kawat fasa C akan lebih besar dibandingkan fasa A dan

fasa B sehingga kawat fasa C akan mengalami flash terlebih dahulu.

4. Pada tabel B1, nilai tegangan akibat sambaran petir pada tiang menara lebih kecil (2286 kV) dibanding nilai tegangan akibat sambaran petir pada kawat tanah (2594kV).
5. Pada tabel B3, nilai tegangan akibat sambaran petir pada menara dengan satu kawat tanah lebih besar (2900 kV) dibanding nilai tegangan akibat sambaran petir pada menara dengan dua kawat tanah (2286 kV).
6. Pada tabel B4, saat terjadi sambaran di puncak menara pada sistem saluran transmisi yang kawat tanahnya terhubung langsung ke sistem pentanahan diperoleh tegangan sebesar 2900 kV lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang kawat tanahnya menempel pada menara yaitu menghasilkan tegangan 2637 kV.

#### Referensi

- [1]. G.Radhika, M.Suryakalavathi.2013.*Back flashover Analysis Improvement of a 220KV Transmission Line*. International Journal of Engineering Research and Applications.
- [2]. Zoro,Reynaldo.*Lightning Protection & Grounding System*.Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung, Indonesia.
- [3]. Hutauruk, T.S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga.
- [4]. PT. PLN (Persero) : *Pedoman Konstruksi Jaringan SUTT-SUTET Tenaga Listrik*.

- [5]. Badan Standarisasi Nasional, "Amandemen *PUIL 2000-2006*", Jakarta. 2001.
- [6]. Abdel-Salam, Husein, Husein Anis, Ahdab El-Moshedy, Roshdy Radwan. 2000. *High-Voltage Engineering*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- [7]. Hutauruk, T.S., "Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan", Erlangga, Jakarta, 1991.
- [8]. Mottola, Fabio. 2007. *Methods and Techniques for the Evaluation of Lightning Induced Overvoltages on Power Lines. Application to MV Distribution Systems for Improving the Quality of Power Supply*, Tesis PhD, University Federico II of Napoli.
- [9]. M. Z. A. Ab Kadir, J. Sardi, W. F. Wan Ahmad, H. Hizam, J. Jasni. (2009). *Evaluation of a 132kV Transmission Line Performance via Transient Modelling Approach*. European Journal of Scientific Research.
- [10]. Wudilawa, Abdulrahman Shehu, 2014. *Transient Performance Of A Power Transmission Line Against Lightning*. Turkey : Mevlana (Rumi) University.
- [11]. Nash, Putra Rezkyan, 2010. *Analisis Pengaruh Resistansi Pentanahan Menara Terhadap Back Flashover Pada Saluran Transmisi 500 kV*. Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November, Indonesia.
- [12]. Renhat L. Dabalok, Syahraward. 2013. *Pengaruh Impedansi Pembumian Menara Transmisi Terhadap Distribusi Tegangan Surja Pada Tiap Menara Transmisi*. Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara, Indonesia.
- [13]. Ira Debora Parhusip, Agung Warsito, Abdul Syukur. 2013. *Studi Pengaruh Variasi Parameter Sambaran Petir Terhadap Tegangan Induksi Pada Jaringan Distribusi 20 Kv*. Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Indonesia.
- [14]. Agung Nugroho, Abdul Syukur. 2005. *Penentuan Lokasi Pemasangan Lightning Masts Pada Menara Transmisi Untuk Mengurangi Kegagalan Perlindungan Akibat Sambaran Petir*. Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Indonesia