

Proteksi Transmisi 150 kV Maros – Sungguminasa Menggunakan Metode Pentanahan Langsung (*Direct Grounding*)

Arfan Jaya¹⁾, Ahmad Rizal Sultan²⁾, Agus Salim³⁾

^{1,2,3} Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

¹ arfanjaya1999@gmail.com

² rizal.sultan@poliupg.ac.id

³ agussalim16081967@gmail.com

Abstrak

Penyaluran tenaga listrik keseluruhan daerah merupakan salah satu tanggung jawab penyedia dan pengelola tenaga listrik, dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) untuk mencukupi permintaan tenaga listrik di berbagai daerah. Untuk itu dibangun saluran transmisi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit ke pusat-pusat beban atau konsumen. Saluran transmisi 150 kV rute Maros – Sungguminasa merupakan daerah yang sering terjadi gangguan sambaran petir. Menurut data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Sulawesi selatan terdapat 51 kali sambaran petir, karena berada di daerah persawahan. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan nilai tahanan pentanahan yang baik dan bagaimana pengaruh pentanahan pada menara transmisi SUTT 150 kV Maros – Sungguminasa. Untuk menentukan nilai tahanan yang baik digunakan metode pentanahan langsung (*direct grounding*). Berdasarkan hasil penelitian tersebut didapatkan nilai tahanan pentanahan yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah sebesar 8,66 Ω untuk tower 106, 107, dan 108 pada transmisi SUTT 150 kV Maros – Sungguminasa, sehingga nilai yang telah didapatkan tersebut telah sesuai dengan standar tahanan pentanahan yaitu dibawah 10 Ω .

Kata Kunci: Transmisi 150 kV, Tahanan Pentanahan, Direct Grounding

I. PENDAHULUAN

Penyaluran tenaga listrik keseluruhan daerah merupakan salah satu tanggung jawab penyedia dan pengelola tenaga listrik, dalam hal ini Perusahaan Listrik Negara (PLN) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) untuk mencukupi permintaan tenaga listrik di berbagai daerah. Untuk itu dibangun saluran transmisi untuk menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit ke pusat-pusat beban atau konsumen. Penyaluran tenaga listrik dapat menggunakan saluran udara tegangan ekstra tinggi, saluran udara tegangan tinggi, dan saluran kabel tegangan tinggi [1].

Saluran transmisi merupakan bagian yang sering menerima gangguan, selain gangguan dari dalam atau pada peralatan itu sendiri juga terdapat gangguan dari luar, gangguan yang terjadi dapat berupa beban lebih, sambaran petir, badai, pohon tumbang dan hubung singkat. Saluran transmisi 150 kV rute Maros – Sungguminasa merupakan daerah yang sering terjadi gangguan sambaran petir. Menurut data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Sulawesi selatan terdapat 51 kali sambaran petir, karena berada di daerah persawahan. Untuk mengatasi gangguan tersebut maka PLN ULTG Panakkukang melakukan penambahan sistem pentanahan dengan cara pemasangan pentanahan langsung (*Direct Grounding*).

II. KAJIAN LITERATUR

A. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Saluran udara tegangan tinggi adalah bangunan yang dibuat untuk sarana penyaluran tenaga listrik dari pusat

pembangkit ke Gardu induk (GI) dan ke Gardu induk (GI) lainnya, daya disalurkan melalui konduktor yang dipasang pada tower transmisi, konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower) melalui isolator-isolator dengan sistem tegangan tinggi. Pada saluran transmisi khususnya di Sulawesi tegangan yang disalurkan yaitu 150 kV. Contoh saluran udara tegangan tinggi sesuai pada gambar 1.



Gambar 1. Saluran Udara Tegangan Tinggi

B. Gangguan-Gangguan Pada Jaringan SUTT 150 kV

1. Petir

Petir adalah fenomena alam yang terjadi akibat pelepasan muatan listrik baik yang terjadi dari awan ke tanah, tanah ke awan atau antar awan. Petir merupakan kejadian alam di mana terjadi loncatan muatan listrik antara awan dengan bumi. Loncatan muatan listrik tersebut diawali dengan pengumpulan uap air di dalam awan. Pada ketinggian tertentu uap tersebut berubah menjadi kristal - kristal es. Karena di dalam awan terdapat angin ke segala arah, maka kristal - kristal es tersebut akan saling bertumbukan dan bergesekan sehingga memisahkan muatan positif dan muatan negatif. Pemisahan muatan inilah yang menjadi sebab utama terjadinya sambaran petir.

Kerusakan yang mungkin terjadi pada jaringan tegangan tinggi dan ekstra tinggi yaitu sambaran langsung pada kawat tanah menyebabkan *Flashover* pada Isolator disebut *Back Flashover* (BFO), Sambaran langsung ke kawat fasa sehingga menimbulkan gelombang berjalan menyebabkan *Flashover* pada Isolator disebut *Shielding Failures* (SF). BFO dan SF menyebabkan isolator pecah dan terjadi hubung singkat. Di bawah ini adalah contoh gangguan pada transmisi yaitu *backflashover*

2. Burung atau dedaunan

Burung atau dedaunan yang terbang dan menyentuh dua kawat penghantar SUTT baik antar fasa atau fasa dengan tower, maka dapat memungkinkan terjadinya loncatan bunga api listrik.

3. Debu

Debu yang menempel pada isolator dapat mengurangi kinerja isolator dalam mengisolasi suatu peralatan listrik serta bersifat konduktif yang dapat mengakibatkan loncatan bunga api listrik pada isolator tersebut.

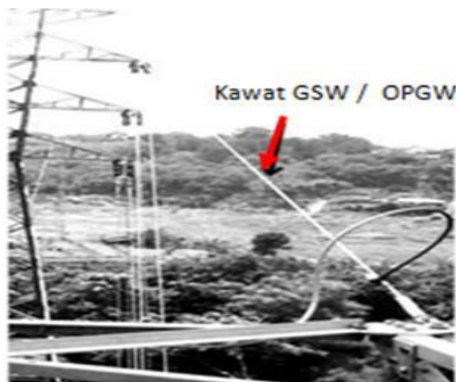
4. Pohon yang tumbuh disekitar SUTT

Pohon tumbuh disekitar SUTT akan menjadi berbahaya apabila telah melewati jarak aman yang diatur pada PUIL 2000, apabila pohon telah melewati batas aman maka sebaiknya dilakukan penebangan atau pemangkasan oleh pihak PLN.

C. Pengaman Dari Gangguan Petir

1. Kawat GSW/ OPGW

Kawat GSW/ OPGW adalah media untuk melindungi konduktor fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang di atas konduktor fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, dengan anggapan petir menyambar dari atas konduktor. Namun jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan konduktor fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.



Gambar 1. Kawat GSW / OPGW

2. Jumper GSW

Untuk menjaga hubungan Kawat GSW dan OPGW dengan tower, maka pada ujung travers Kawat GSW/ OPGW dipasang jumper GSW yang dihubungkan ke kawat GSW. Jumper GSW pada tipe tower *tension* dipasang antara tower dan Kawat GSW/ OPGW serta antar dead end

compression atau protection rods yang dilengkapi helical dead end kawat GSW/ OPGW. Hal ini dimaksudkan agar arus gangguan petir dapat mengalir langsung ke tower maupun antar kawat GSW/ OPGW. Sedangkan pada tipe tower *suspension*, Jumper GSW dipasang pada tower dan disambungkan ke kawat GSW/ OPGW dengan klem penghubung (pararel grup, wire clipe) ataupun dengan memasangnya pada *suspension clamp* kawat GSW/ OPGW.



Gambar 2. Jumper GSW

3. Arcing Horn

Alat pelindung proteksi petir yang paling sederhana adalah *arcing horn*. *Arcing horn* berfungsi memotong tegangan impuls petir secara pasif (tidak mampu memadamkan *follow current* dengan sendirinya). Bentuk dari *Arcing Horn* seperti pada gambar 4.



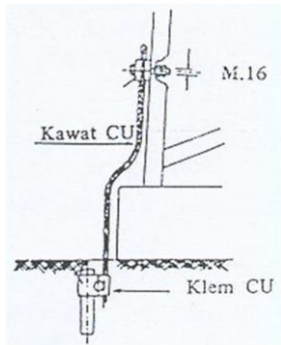
Gambar 3. Arcing Horn

4. TLA

Pada dasarnya jalur transmisi dirancang dengan baik sehingga kebal terhadap sambaran petir. Namun dalam beberapa kasus tidak mungkin untuk merancang dengan sempurna, hanya solusi optimal yang dapat dilakukan. Optimalisasi ini berdasarkan keseimbangan biaya dari desain dan outage yang dapat ditoleransi. Sementara perubahan desain jalur transmisi biasanya mahal, memasang arrester petir pada saluran transmisi TLA merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan *reliability* sistem. Sebuah transmission lightning arrester harus mampu bertindak sebagai insulator, mengalirkan beberapa miliampere arus bocor ke tanah pada tegangan sistem dan berubah menjadi konduktor yang sangat baik, mengalirkan ribuan ampere arus surja ke tanah, memiliki tegangan yang lebih rendah daripada tegangan withstand string insulator ketika terjadi tegangan lebih, dan menghilangkan arus susulan mengalir dari sistem melalui TLA (*power follow current*) setelah surja petir berhasil didisipasikan.

5. Pentanahan (*Grounding*)

Pentanahan tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi yang berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari tiang SUTT ke tanah. Pentanahan tiang terdiri dari konduktor tembaga atau konduktor baja yang diklem pada pipa pentanahan yang ditanam di dekat pondasi tiang, atau dengan menanam plat aluminium/tembaga disekitar pondasi tiang yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari konduktor tanah akibat sambaran petir. Berikut ini contoh dari pentanahan atau yang biasa disebut dengan *grounding* seperti pada gambar 5.



Gambar 4. Pentanahan

Perhitungan nilai tahanan pentanahan untuk jenis elektroda batang dapat digunakan persamaan $R = \rho \frac{L}{A}$ dan didasarkan pada asumsi bahwa tahanan seragam pada seluruh volume tanah hal ini sangat jarang terjadi karena berbedanya jenis tanah disekitar pentanahan, maka dari itu persamaan yang dapat digunakan untuk elektroda tunggal dikembangkan oleh professor H.B. Dwight:

$$R = \left(\frac{\rho}{2\pi L}\right) \left[\text{Ln} \left(\frac{4L}{A}\right) - 1 \right] \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

- R = tahanan kaki menara (ohm)
 - ρ = tahanan jenis tanah (ohm.m)
 - L = panjang dari batang pentanahan (meter)
 - A = Luas penampang batang pentanahan (meter)
- Di bawah ini diberikan informasi pada Tabel 1 yang menunjukkan nilai tahanan jenis tanah berdasarkan jenis tanah yang berbeda.

Tabel 1. Tahanan jenis tanah berdasarkan standar PUIL 2011

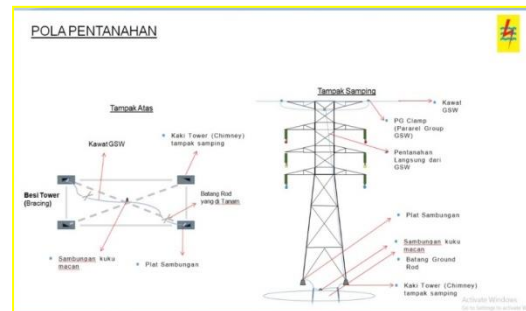
| Jenis Tanah | Tahanan Jenis (Ωm) |
|--------------------------|------------------------------------|
| Tanah Rawa / Berair | 30 Ωm |
| Tanah Liat | 100 Ωm |
| Pasir Basah | 200 Ωm |
| Kerikil Basah | 500 Ωm |
| Pasir dan Kerikil Kering | 1000 Ωm |
| Tanah Berbatu | 3000 Ωm |

D. Pola Pentanahan Langsung

Salah satu upaya untuk meningkatkan performa dalam perlindungan terhadap sambaran petir langsung adalah dengan membuat saluran pembuangan sambaran petir langsung dari *groundwire* ke pentanahan atau dikenal sebagai *direct grounding*.

Groundwire atau *earth wire* (kawat petir / kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil mungkin, karena dianggap petir menyambar dari atas kawat. Prinsip dari pemakaian kawat tanah ini adalah bahwa kawat tanah akan menjadi sasaran sambaran petir sehingga melindungi kawat fasa dengan daerah/zona tertentu.

Dalam kasus sambaran petir yang terjadi pada saluran transmisi rute Maros - Sungguminasa *groundwire* belum cukup untuk memproteksi kawat fasa sepenuhnya. Sambaran petir pada tower transmisi pada *groundwire* akan dialirkan, atau dibuang ke pentanahan melalui tower transmisi, namun besarnya resistansi tersebut mengakibatkan arus petir tidak dapat terbang sempurna ke tanah sehingga menyebabkan timbulnya beda potensial antara tower dan kawat fasa yang menyebabkan *backflashover* atau lompatan karena kenaikan potensial oleh sebab tingginya tahanan kaki menara. Pola pemasangan pentanahan langsung tersebut dapat dilihat pada gambar 6 berikut ini.



Gambar 5. Pola Pentanahan Langsung

E. Tegangan Pada Puncak Menara dan Tegangan Lengan Menara

Untuk menghitung tegangan pada puncak menara diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$V_T = \left[Z_I - \frac{Z_W}{1-\psi} \left(1 - \frac{\tau_T}{1-\psi} \right) \right] \cdot I \dots \dots \dots (2)$$

Dengan:

$$\tau_T = \frac{h}{300} \mu\text{s} \dots \dots \dots (3)$$

$$Z_I = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t} \dots \dots \dots (4)$$

$$Z_w = \left[\frac{2Z_g^2 Z_t}{(2Z_g + Z_t)^2} \right] \left[\frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right] \dots \dots \dots (5)$$

$$\psi = \left[\frac{2Z_t - Z_g}{(2Z_t + Z_g)^2} \right] \left[\frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right] \dots \dots \dots (6)$$

Dengan:

Z_g = impedansi surja kawat tanah
 Z_t = impedansi surja menara
 R = tahanan kaki menara

Tegangan pada crossarm dapat dihitung dengan interpolasi tegangan puncak menara dengan tegangan dasar menara. Persamaan dari tegangan crossarm sebagai berikut.

$$V_{pn} = V_R + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [V_T - V_R] \dots \dots \dots (7)$$

Dengan menghitung tegangan pada kaki menara terlebih dahulu.

$$V_R = \left[\frac{\alpha_R Z_I}{1 - \psi} \right] \left[1 - \frac{\psi \cdot \tau_T}{(1 - \psi)} \right] \cdot I \dots \dots \dots (8)$$

$$\alpha_R = \frac{2 \cdot R}{Z_t + R} \dots \dots \dots (9)$$

$$\tau_T = \frac{Y_n}{300} \mu s \dots \dots \dots (10)$$

Dengan:

τ_{pn} = waktu rambat dari puncak menara ke crossarm
 τ_T = waktu rambat dari puncak menara ke dasar menara
 Y_n = jarak vertikal puncak tower ke crossarm

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

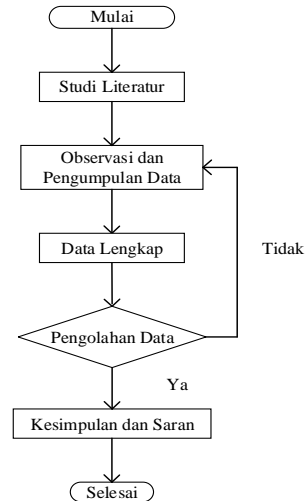
Penelitian yang dilakukan penulis terkait Proteksi transmisi 150 kV Maross – Sungguminasa Menggunakan Metode Pentanahan Langsung (*Direct Grounding*) dilaksanakan di PT PLN (Persero) Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Panak kukang yang terletak di Jalan Letjen Hertasning, Kecamatan Panakkukang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian dan pengambilan data dilakukan pada bulan Januari – Maret 2021.

B. Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode pentanahan langsung dalam menentukan tahanan pentanahan. Pada prosedur penelitian seperti Gambar 7 menjelaskan alur yang akan dilakukan dalam pembuatan jurnal ini. Diawali dengan studi literatur, lalu melakukan observasi dan mengumpulkan data. Kemudian mengolah data menggunakan rumus tahanan pentanahan. Dari proses pengolahan data didapatkan hasil dan pembahasan, sehingga dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah studi literatur yang berkaitan dengan penulisan jurnal ini, observasi pada Tower Transmisi 150 kV Rute Maros - Sungguminasa, mengumpulkan data yang diperlukan, melakukan wawancara dengan staff OPHAR PT PLN (Persero) ULTG Panakkukang, dan melakukan dokumentasi sebagai penunjang penelitian.



Gambar 6. Bagan Alur Prosedur Penelitian

D. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan peneliti dalam penelitian ini merujuk pada tujuan penelitian yang telah dirumuskan. Berdasarkan tujuan penelitian, maka analisis data yang digunakan adalah analisis data deskriptif dengan cara menghitung nilai perbaikan tahanan pentanahan pada tower 106, 107, 108, rute maros – sungguminasa, membandingkan hasil teori perhitungan perbaikan nilai tahanan pentanahan tower transmisi dengan data nilai tahanan pentanahan di lapangan. Dari perbandingan tersebut dapat diperoleh hasil perbaikan nilai tahanan pentanahan pada tower transmisi 150 kV rute maros – sungguminasa.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Saluran Transmisi 150 kV Rute Maros – Sungguminasa

Saluran Transmisi 150 kV Rute Maros – Sungguminasa milik PT PLN (Persero) ULTG Panakkukang, terletak di Jalan Letjen Hertasning, Kecamatan Panakkukang, Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan. Dengan jumlah tower sebanyak 142, tipe tower yang digunakan ada dua macam yaitu tower jenis *tension* dan *suspension*, untuk konduktor digunakan tipe ACSR, spesifikasi tower transmisi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi tower transmisi

| Spesifikasi | Panjang (meter) |
|---|-----------------|
| Tinggi menara | 32.2 |
| Lebar menara | 7.551 |
| Panjang lengan kawat tanah | 2.668 |
| Panjang lengan kawat fasa | 4.013 |
| Jarak antar lengan kawat tanah dan kawat fasa | 2.9 |
| Jarak antar lengan kawat fasa | 4.7 |
| Jarak antar menara | 300 |

B. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan

Sebelum melakukan pemasangan pentanahan langsung, lebih dulu dilakukan pengukuran nilai tahanan pentanahan sebelum pemasangan. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan sebelum dilakukan pemasangan pentanahan langsung agar dapat diketahui bahwa kegiatan yang akan dilakukan sesuai atau tidak. Hasil dari pengukuran yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil pengukuran tahanan pentanahan

| No. Tower | Nilai Tahanan Pentanahan |
|-----------|--------------------------|
| 106 | 12.50 |
| 107 | 12.75 |
| 108 | 13.20 |

Berdasarkan hasil pengukuran yang didapatkan terlihat bahwa nilai tahanan pentanahan dari ketiga tower belum memenuhi nilai standar pentanahan yang telah ditentukan sesuai dengan Keputusan Direksi PT PLN (Persero) nomor 0520-1.K/DIR/2014 yang menyatakan bahwa untuk tower transmisi 150 kV nilai tahanan pentanahan yaitu dibawah 10 ohm. Sehingga nilai tahanan pentanahan untuk ketiga tower tersebut tidak cukup layak untuk menggunakan sistem transmisi. Oleh karena itu perlu dilakukan kegiatan pemasangan pentanahan langsung.

C. Perhitungan Nilai Tahanan Pentanahan Secara Teori

Nilai tahanan pentanahan harus dibawah 10 Ω untuk sistem transmisi 150 kV. Adapun desain dan perhitungan secara teori dapat dilakukan dengan merujuk pada persamaan (1):

Rumus untuk perhitungan satu buah elektroda rod :

- a) Dengan menggunakan data tower 106 :
Tahanan jenis tanah (ρ) = 30 Ohm-meter untuk tanah sawah

Panjang elektrode (L) = 3 meter

Diameter elektroda (A) = 3/4 inch = 1,905 cm = 0,01905 m

Jari-jari elektrode (r) = 1,905 / 2 = 0,009525 m

$$R = \left(\frac{30}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \right) \left[\ln \left(\frac{4 \cdot 3}{0,01905} \right) - 1 \right]$$

$$R = \left(\frac{30}{18,84} \right) \left[\ln (629,92) - 1 \right]$$

$$R = (1,592)[6,445 - 1]$$

$$R = 1,592 \cdot 5,445$$

$$R = 8,668 \Omega$$

Untuk data tower 107 dan 108 sama dengan data pada tower 106 di atas. Sehingga perhitungan di atas berlaku untuk tower 107 dan 108. Nilai tahanan pentanahan yang didapatkan telah memenuhi standar nilai tahanan pentanahan tower untuk sistem transmisi 150 kV sehingga

batang elektroda tidak perlu di paralelkan untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang lebih kecil.

Setelah dilakukan pemasangan pentanahan langsung, kemudian dilakukan pengukuran tahanan pentanahan. Hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan

| Tower | Nilai Tahanan Pentanahan | |
|-------|--------------------------|---------|
| | Sebelum | Sesudah |
| 106 | 12.50 | 8.35 |
| 107 | 12.75 | 8.40 |
| 108 | 13.20 | 8.50 |

Nilai-nilai tersebut dikatakan telah memenuhi standar PT PLN Persero, yaitu nilai tahanannya dibawah 10 Ω, sehingga dalam penggunaannya layak untuk digunakan sebagai media penyalur surja petir dan peningkatan performa pentanahan tower dengan mengalirkan arus sambaran petir tanpa melalui *body* tower menuju ke tanah.

D. Perhitungan Tegangan Puncak, Dasar dan Crossarm/Lengan Menara

1. Perhitungan Tegangan Lompatan Api

$$Vf_0 = \left(K_1 + \frac{K_2}{t^{0.75}} \right) x 10^3 kV$$

$$Vf_0 = (0.4 x 1.8) x \frac{0.71 x 1.8}{2^{0.75}} 10^3$$

$$Vf_0 = 1479.90 kV$$

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai batas tegangan kemampuan isolator sebesar 1479,90 kV. Dari perolehan hasil tegangan ini maka nantinya dijadikan sebagai batasan tegangan terjadinya *back flashover* pada isolator.

2. Perhitungan Impedansi Surja Menara, Surja Kawat Tanah, Instrinsik dan Gelombang Menara.

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

$$Z_t = 30 \ln \left[\frac{2(32.2^2 + 3.77^2)}{3.77^2} \right] = 149.90 \Omega$$

$$Z_g = 60 \ln \left(\frac{2h_t}{\sqrt{a_{12} r_{gw}}} \right)$$

$$Z_g = 60 \ln \left(\frac{2 \times 32.2}{\sqrt{5.336 \times 0.0055}} \right) = 355.74 \Omega$$

$$Z_l = \frac{Z_g Z_t}{Z_g + 2Z_t}$$

$$Z_l = \frac{355.74 \times 149.90}{355.74 + (2 \times 149.90)} = 81.35 \Omega$$

$$Z_w = \left[\frac{2Z_g^2 Z_t}{(2Z_g + Z_t)^n} \right] \left[\frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right]$$

$$Z_w = \left[\frac{(2 \times 355,74^2) 1149,90}{(2 \times 355,74 + 149,90)^2} \right] \left[\frac{149,90 - 8,35}{149,90 + 8,35} \right]$$

$$Z_w = 45,74 \text{ kV}$$

Setelah dilakukan perhitungan diperoleh hasil nilai impedansi menara sebesar 149,90 Ω, impedansi surja kawat tanah sebesar 355,74 Ω, impedansi intrinsik sebesar 81,35 Ω, dan impedansi gelombang menara sebesar 45,74 Ω.

3. Menghitung Faktor Redaman

$$\psi = \left[\frac{2Z_t - Z_g}{(2Z_t + Z_g)^n} \right] \left[\frac{Z_t - R}{Z_t + R} \right]$$

$$\psi = \left[\frac{2 \times 149,90 - 355,74}{(2 \times 149,90 + 355,74)^2} \right] \left[\frac{149,90 - 8,35}{149,90 + 8,35} \right]$$

$$\psi = -0,00012 \text{ kV}$$

Dengan persamaan diatas, parameter untuk menghitung faktor redaman didapatkan dari hasil impedansi menara, impedansi surja kawat tanah dan nilai resistansi pentanahan menara. Sehingga didapat hasil faktor redaman yaitu -0.00012 kV.

4. Menghitung Waktu Rambat Gelombang dari Puncak ke Dasar Menara dan dari Puncak ke Crossarm

Untuk mengetahui waktu rambat gelombang dari puncak ke dasar menara dapat dihitung dengan persamaan:

$$\tau_T = \frac{h}{300} \mu s$$

$$\tau_T = \frac{32,2}{300} = 0,11 \mu s$$

Waktu rambat puncak yang menuju ke crossarm dengan persamaan:

$$\tau_{pn} = \frac{y_n}{300} \mu s$$

$$\tau_{pn} = \frac{2,9}{300} = 0,0097 \mu s$$

Sehingga didapatkan nilai waktu untuk rambat gelombang dari puncak ke dasar menara yang sebesar 0,11 μs, dan rambat gelombang puncak ke crossarm sebesar 0,0097 μs. waktu rambat gelombang puncak ke crossarm lebih cepat dibanding ke dasar menara, dikarenakan crossarm lebih dekat dari puncak menara.

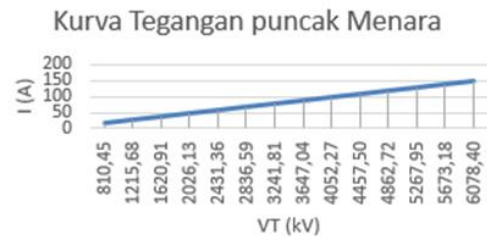
5. Menghitung Tegangan Puncak Menara

$$V_T = \left[Z_1 - \frac{Z_w}{1 - \psi} \left(1 - \frac{\tau_T}{1 - \psi} \right) \right] \cdot I$$

$$V_T = \left[81,35 - \frac{45,74}{1 - (-0,00012)} \left(1 - \frac{0,11}{1 - (-0,00012)} \right) \right] \cdot 20$$

$$V_T = 810,45 \text{ kV}$$

Tegangan puncak menara terjadi karena adanya sambaran petir dan arus yang merambat menghadapi besaran impedansi. Dari hasil persamaan di atas didapat nilai tegangan puncak menara sebesar 810,45 kV. Berikut kurva tegangan puncak menara yang didapatkan.



Gambar 7. Kurva tegangan puncak menara

Dapat dilihat pada Gambar 8 bahwa tegangan puncak menara dari sebuah transmisi dipengaruhi oleh nilai arus sambaran petir. Semakin besar nilai arus sambaran maka nilai tegangan puncak Menara yang dihasilkan akan tinggi. Kurva perbandingan menunjukkan bahwa apabila nilai arus sambaran sebesar 20 kA, maka nilai tegangan puncak menara 810,45 kV. Jika nilai arus sambaran sebesar 150 kA, maka nilai tegangan puncak menara 6078,40 kV.

6. Menghitung Tegangan Dasar Menara

Untuk mencari tegangan pada dasar menara, pembiasan pada tahanan kaki menara di hitung terlebih dahulu, dengan persamaan:

$$\alpha_R = \frac{2 \cdot R}{Z_t + R}$$

$$\alpha_R = \frac{2 \times 8,35}{149,90 + 8,35} = 0,106$$

Setelah nilai pembiasan dihitung dengan hasil sebesar 0,106, selanjutnya menghitung tegangan dasar menara dengan perhitungan persamaan:

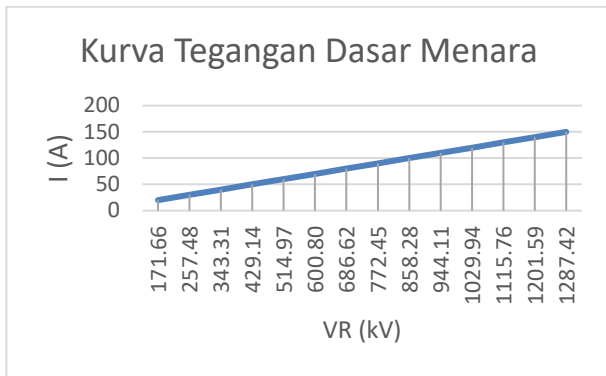
$$V_R = \left[\frac{\alpha_R \cdot Z_I}{1 - \psi} \right] \left[1 - \frac{\psi \cdot \tau_T}{1 - \psi} \right] \cdot I$$

$$V_R = \left[\frac{(-0,00012) \times 81,35}{1 - (-0,00012)} \right] \left[1 - \frac{(-0,00012) \times 0,11}{(1 - (-0,00012))} \right] \cdot 20$$

$$V_R = 171,66 \text{ kV}$$

Tegangan yang terjadi pada dasar menara yang diperoleh dari perhitungan diatas adalah 171,66 kV. Berikut kurva tegangan dasar menara yang didapatkan.

Dapat dilihat pada Gambar 9 bahwa tegangan dasar menara dari sebuah transmisi dipengaruhi oleh nilai arus sambaran petir. Semakin besar nilai arus sambaran maka nilai tegangan dasar Menara yang dihasilkan akan tinggi. Kurva perbandingan menunjukkan bahwa apabila nilai arus sambaran sebesar 20 kA, maka nilai tegangan puncak menara 171,66 kV. Jika nilai arus sambaran sebesar 150 kA, maka nilai tegangan puncak menara 1287,42 kV.



Gambar 8. Kurva tegangan dasar menara

7. Menghitung tegangan *crossarm*

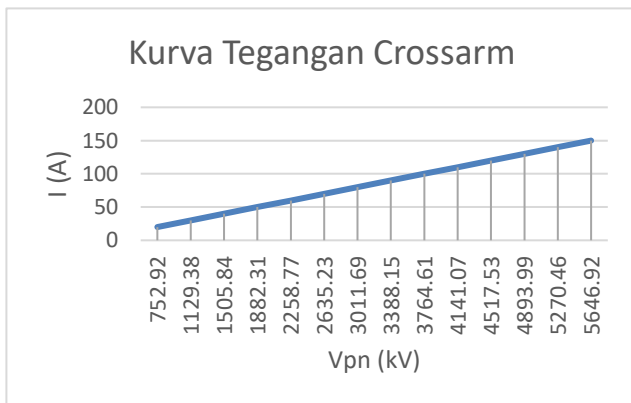
Parameter perhitungan tegangan *crossarm* diperoleh dari hasil tegangan menara, tegangan dasar menara dan waktu rambat gelombang dengan menggunakan persamaan (2.19)

$$V_{pn} = V_R + \frac{\tau_T - \tau_{pn}}{\tau_T} [V_T - V_R]$$

$$V_{pn} = 171.66 + \frac{0.11 - 0.0097}{0.11} [810.45 - 171.66]$$

$$V_{pn} = 752.92 \text{ kV}$$

Tegangan yang terjadi pada *crossarm* yang diperoleh dari perhitungan diatas adalah 752,92 kV. Apabila tegangan V_{pn} terjadi sama atau melebihi dari tegangan V_{fo} maka terjadi *back flashover*.



Gambar 10. Kurva Tegangan Crossarm

Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa tegangan *crossarm* dari sebuah transmisi dipengaruhi oleh nilai arus sambaran petir. Semakin besar nilai arus sambaran maka nilai tegangan *crossarm* yang dihasilkan akan tinggi. Kurva perbandingan menunjukkan bahwa apabila nilai arus sambaran sebesar 20 kA, maka nilai tegangan *crossarm* 752,92 kV. Jika nilai arus sambaran sebesar 150 kA, maka nilai tegangan *crossarm* 5646,92 kV.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Nilai tahanan pentanahan yang diperoleh dari hasil perhitungan adalah sebesar 8,66 Ω untuk tower 106, 107, dan 108 pada transmisi SUTT 150 kV Maros – Sungguminasa, Sehingga nilai yang telah didapatkan tersebut telah sesuai dengan standar tahanan pentanahan yaitu dibawah 10 Ω .
2. Setelah melakukan pemasangan pentanahan langsung pada tower 106, 107, dan 108 maka pengaruh yang terjadi adalah mengecilnya nilai tahanan pentanahan sehingga, dapat melindungi peralatan tower ketika terjadi gangguan seperti sambaran petir.
3. Pada kondisi nilai resistansi kaki menara 8,35 Ω dengan karakteristik arus sambaran sebesar 20 kA menghasilkan tegangan puncak menara sebesar 810,45 kV dan 6078,40 kV untuk arus sambaran 150 kA, sedangkan tegangan dasar menara sebesar 171,66 kV untuk sambaran 20 kA dan 1287,42 kV untuk sambaran 150 kA, serta nilai tegangan *crossarm* sebesar 752,92 kV untuk arus sambaran 20 kA dan 5646,92 kV untuk sambaran 150 kA.

REFERENSI

- [1] Antonov, Reza Irwanto. (2017). *Studi Analisa Probabilitas Perlindungan Kawat Tanah Terhadap Gangguan Kilat Pada Kawat Fasa Berdasarkan Tipe Tower Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV (Aplikasi SUTT 150 kV Singkarak – Padang Panjang)*. Padang: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Padang.
- [2] Djiteng Marsudi. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Balai Penerbit & Humas ISTN.
- [3] Hutauruk, T.S. 1987 *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [4] Ilham, A. M. 2016. *Mitigasi Gangguan Transmisi Akibat Sambaran Petir Line Sungguminasa – Maros*. Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [5] PT PLN (Persero) No.0520-1.K/DIR/2014. 2014. *BUKU PEDOMAN PEMELIHARAAN SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI DAN EKSTRA TINGGI (SUTT/SUTET)*. Jakarta.
- [6] Reynaldo, Z. 2016. *Sistem Proteksi Petir pada Jaringan Transmisi, Distribusi dan Gardu Induk*. Makassar: Lightning Research Center School for Electrical Engineering & Informatic of ITB.
- [7] Safira Wulan Dari. 2017. *Evaluasi Pentanahan Langsung Tower Transmisi Sutt 150 Kv Rute Tello – Sungguminasa*, Makassar: Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [8] Yoppi Kurnia Putra.(2017). *Analisa Kemampuan Pentanahan Menara SUTT Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan BackFlashOver Pada Saluran Transmisi 150 kV Ponorogo - Manisrejo*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Malang.