

Evaluasi Pentanahan Terhadap Sambaran Petir Pada SUTT 70 kV Menggunakan *Electro Magnetic Transient Program* (EMTP)

Sigit Setya Wiwaha*^{a)}, Rohmanita Duanaputri^{a)}, Sigi Syah Wibowo^{a)}, Adil Prasetyo^{a)},
Sri Wahyuni Dali^{a)}

(Artikel diterima: Juli 2021, direvisi: Oktober 2021)

Abstrak: Sistem transmisi merupakan sistem yang sering mengalami gangguan sambaran petir dan dapat menyebabkan *back flashover* (BFO) apabila terdapat sambaran langsung pada kawat tanah maupun pada menara. Sambaran petir juga dapat mengakibatkan bahaya tegangan sentuh dan tegangan langkah pada saat petir menyambar permukaan tanah. Pentanahan merupakan pengaman yang berfungsi untuk melindungi peralatan, sistem, manusia dan makhluk hidup yang lain dari lonjakan listrik terutama sambaran petir. Nilai resistansi pentanahan pada tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem transmisi. Batasan nilai resistansi pentanahan menurut PUIL 2000 adalah tidak lebih dari atau sama dengan 5 Ohm. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi seberapa layak tower beserta alat pelindung yang ada pada tower tersebut antara lain pentanahan (*grounding*) dan arrester apabila terjadi sambaran petir. Dengan pengumpulan data, menghitung tegangan menara dan melakukan simulasi tegangan lebih petir dengan aplikasi *ATPdraw*. Dari pengujian tegangan menara dengan mengambil sample pada tower dengan resistansi pentanahan tertinggi yaitu 5,8 Ohm pada tower T63, di dapat nilai tegangan menara sebesar 169,94 saat di beri arus 20 kA, 345,6 kV saat diberi arus 40 kA, dan 682,03 kV saat diberi arus 80 kA. Secara perhitungan dan simulasi bahwa nilai tegangan menara tersebut tidak menyebabkan *Back flashover* (BFO) sehingga dapat di kategorikan aman dan layak dari gangguan sambaran petir.

Kata-Kata kunci: Pentanahan, Tegangan Sentuh, Tegangan Langkah, Tegangan Menara, *Backflashover*.

1. Pendahuluan

Surja petir merupakan salah satu penyebab gangguan yang cukup banyak terjadi dalam sistem tenaga listrik dan paling sering mengenai saluran transmisi. Oleh sebab itu, petir seringkali menyebabkan gangguan pada saluran transmisi. Gangguan petir pada saluran transmisi dapat berupa sambaran langsung (*direct stroke*) dan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) yang dapat menyebabkan terganggunya saluran transmisi dalam menghantarkan daya listrik. Pada saluran udara tegangan tinggi gangguan petir umumnya disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) sedangkan sambaran tak langsung (*indirect stroke*) sangat kecil pengaruhnya terhadap sistem kerja saluran udara tegangan tinggi. Sambaran langsung (*indirect stroke*) lebih berpengaruh terhadap saluran udara tegangan menengah [1].

Gangguan yang disebabkan oleh sambaran langsung (*direct stroke*) pada kawat tanah SUTT adalah fenomena *back flashover*. Arus petir yang menyambar pada tower atau kawat tanah akan menyebabkan gelombang berjalan sepanjang kawat tanah kemudian arus surja petir akan mengalir ketanah melalui tower transmisi. Tower transmisi yang pada keadaan normal mempunyai beda potensial yang sama dengan potensial bumi akan mengalami kenaikan tegangan karena mengalirnya arus surja petir pada impedansi surja tower, impedansi surja kawat, dan resistansi pentanahan. Fenomena *back flashover* terjadi apabila tegangan pada isolator saluran lebih besar atau sama dengan tegangan kritis lompatan api (*critical flashover*) sehingga lompatan api terjadi pada isolator tersebut [1].

Sistem pentanahan atau biasa disebut *grounding system* adalah sistem pengaman yang berfungsi untuk melindungi peralatan, sistem, manusia dan makhluk hidup yang lain dari

lonjakan listrik terutama surja petir..

Nilai pentanahan pada tower SUTT harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyaluran. Batasan nilai resistansi pentanahan menurut PUIL 2000 tidak lebih atau sama dengan 5 Ohm dan diperjelas pada Keputusan Direksi PT.PLN (Persero) No. PDM/STT/10:2014 tentang Pedoman Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Tinggi dan Ekstra Tinggi (SUTT/SUTET) yaitu batasan nilai resistansi pentanahan maksimal 5 Ohm.

Tower transmisi SUTT 70 kV Kebonagung-Turen/Sengguruh merupakan komponen pada Gardu Induk yang menyalurkan energi listrik. Gardu Induk Kebonagung memiliki 24 tower transmisi untuk mensuplai ke wilayah di sekitar Kec. Turen dan Sengguruh. Tower transmisi SUTT 70 kV Kebonagung-Turen/Sengguruh memiliki nilai resistansi pentanahan yang bervariasi. Hal tersebut timbul Karena pengaruh cuaca yang menyebabkan perubahan komposisi jenis tanah dan sangat mempengaruhi besar kecilnya nilai pentanahan disekitar tower dan penghantar elektroda yang terpasang di tower SUTT/SUTET [12].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pengertian Petir dan Mekanismenya

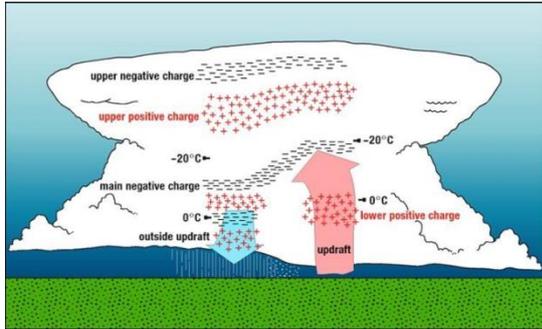
Pada keadaan tertentu, di dalam lapisan atmosfer bumi dapat terjadi gerakan angin ke atas membawa udara lembap. Semakin tinggi udara lembap dari permukaan bumi, semakin rendah tekanan dan suhunya. Uap air terkondensasi menjadi titik-titik air dan kemudian membentuk awan. Pada ketinggian ± 5 km, awan tersebut membeku menjadi Kristal es yang turun lagi karena adanya gravitasi bumi. Adanya pergeseran horizontal maupun vertical pada titik air menyebabkan terjadinya pemisahan muatan

* Korespondensi: sigit.setya@polinema.ac.id

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

listrik. Titik-titik air diawan akan berbenturan dengan titik air lainnya dan menyebabkan titik air menangkap muatan negative dan melepaskan muatan positif ke udara yang secara bersamaan akan terangkut ke atas menuju puncak [10].

Dengan adanya awan yang bermuatan maka timbul muatan induksi pada muka hingga timbul medan listrik. Jika medan listrik awan-bumi atau sebaliknya melebihi medan tembus udara, akan terjadi pelepasan muatan. Pelepasan muatan inilah yang disebut petir [10].



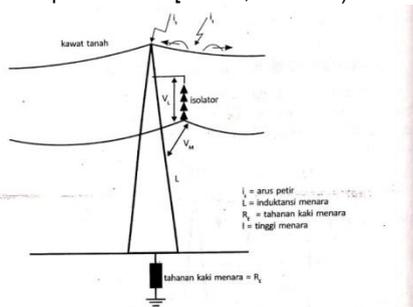
Gambar 2.1 Mekanisme terjadinya petir
(Sumber: physicalgeography.net)

2.2 Sambaran Langsung

Sambaran langsung adalah apabila kilat/petir menyambar langsung pada kawat fasa (untuk saluran tanpa kawat tanah) atau pada kawat tanah (untuk saluran dengan kawat tanah). Apabila sambaran petir menyambar pada tiang SUTT, terjadilah gelombang tegangan balik dan kemudian berjalan sepanjang tiang dan terkumpul di puncak maupun di dasar tiang sehingga meningkatkan nilai tegangan yang terdapat di lengan-lengan menara dan kemudian mengganggu isolasi. Isolasi ini akan menyambar balik (*backflash*) jika tegangan transien yang melebihi batas kemampuan isolasi [6].

2.3 Sambaran Pada Menara

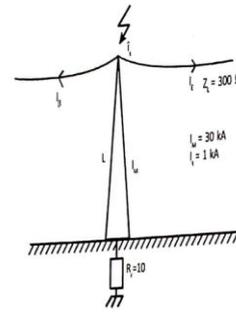
Apabila terjadi sambaran petir terhadap tiang penyangga saluran, gelombang tegangan yang dibangkitkan terjadi akibat adanya gelombang tegangan balik dan kemudian berjalan sepanjang tiang, terkumpul di puncak maupun dasar tiang sehingga meningkatkan tegangan yang terdapat di lengan-lengan tiang penyangga dan kemudian mengganggu isolasi. Isolasi ini akan menyambar balik jika tegangan transien melebihi batas kemampuan isolasi [Abduh, 2002: 12].



Gambar 2.2 Sambaran petir pada menara
(Sumber: Zoro (2018))

2.4 Sambaran Pada Kawat Tanah

Jika kawat tanah disambar petir, sebagian arus yang muncul akan mengalir ke menara.



Gambar 2.3 Sambaran petir pada kawat tanah
(Sumber: Zoro (2018))

2.5 Gelombang Berjalan Pada Saluran Transmisi

Gelombang ini merupakan karakteristik gelombang serta keadaan pada titik peralihan dari kawat transmisi, dari sudut energy yang merambat pada kawat. Kecepatan merambat gelombang berjalan tergantung dari konstanta-konstanta kawat. Pada kawat di udara, kecepatan merambat ini kira-kira 300 meter per mikro-detik jadi sama dengan kecepatan cahaya. Pada kabel tanah kira-kira 150 meter per mikro detik [8].

Bila gelombang mencapai titik peralihan atau diskontinuitas akan terjadi perubahan pada gelombang tersebut sehingga terdapat sedikit perbedaan dengan gelombang asal [8].

2.6 Sambaran Tidak Langsung

Sambaran tidak langsung terjadi apabila sambaran ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang di akibatkan oleh medan elektromagnetis, induksi akibat sambaran dekat, dan elevasi tegangan pada struktur pentanahan. Fenomena ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat di tempat sambaran berlangsung [8].

2.7 Lompatan Api Balik (*Backflashover*)

Sambaran petir pada menara transmisi atau kawat tanah dapat mengakibatkan *Backflashover* (BFO), hal ini terjadi apabila isolasi udara mengalami kegagalan akibat kenaikan tegangan yang sangat tinggi pada menara transmisi. Besarnya tegangan yang timbul pada isolator transmisi tergantung pada kecuraman, puncak, dan waktu muka gelombang kilat atau petir. Fenomena *Backflashover* terjadi apabila tegangan pada isolator saluran lebih besar atau sama dengan tegangan kritis lompatan api sehingga lompatan api terjadi pada isolator tersebut [1].

2.8 Tegangan Sentuh

Tegangan Sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada di bawahnya [7].

$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \text{ ps}) \dots \dots \dots (2-1)$$

2.9 Tegangan Langkah

Tegangan langkah yaitu tegangan yang muncul di sela-sela dua kaki manusia ketika berdiri di atas permukaan tanah dan

3.6 Data Pentanahan Tower Transmisi 70 kV Kebonagung-Turen/Sengguruh

Pentanahan tower transmisi (Grounding) adalah salah satu hal penting dari sistem transmisi yang berfungsi untuk mengalirkan arus dari kawat tanah akibat sambaran petir yang kemudian arus di netralkan melalui pentanahan (grounding). Sehingga SUTT 70 kV dibutuhkan pentanahan tower sebagai pengaman saat adanya sambaran petir agar arus dapat dinetralkan ke tanah. Berikut merupakan data pentanahan tower SUTT 70 kV Kebonagung-Turen/Sengguruh tahun 2019.

Tabel 3.2 Data Pentanahan tower SUTT 70 kV Kebonagung-Turen/Sengguruh

| No Tower | Hasil Pengukuran (Ω) | | | | | Kondisi Tanah | |
|----------|----------------------|---|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------|--------|
| | Arde Tower (Total) | Arde Kaki Tower (Klem dilepas dari tower) | | | | | Tower |
| | A | B | C | D | | | |
| 1 | 0.48 | 0.2 | 0.28 | 3.84 | 0.2 | 0.21 | Kering |
| 2 | 1.22 | | | 2.39 | | 2.22 | Sawah |
| 3 | | | | | | 1.8 | Kering |
| 4 | 2.05 | | | | | 2.05 | Sawah |
| 5 | 1.39 | | | 5.3/7.40 | | 2.32 | kering |
| 6 | 3 | | | 5.96 | | 4.35 | Kering |
| 7 | 2.64 | | | 4.98 | | 4.86 | Kering |
| 8 | 2.04 | | | 3.9 | | 3.7 | Kering |
| 9 | 4.4 | | | 6.1 | | 7.55 | Kering |
| 10 | 1.17 | 10 | 2.00/2.04 /3.01/2.06 | 2.08/3.90 /5.30/15.9 | 1.97/1.91 /2.08/2.09 | 3.8 | Kering |
| 11 | 2.06 | | | 3.05 | | 5.76 | Kering |
| 12 | 3.6 | | | 43 | | 4.07 | Kering |
| 13 | 3.71 | 14.6 | | | | 8.33 | Kering |
| 14 | 1.2 | 2.02/2.01 /2.00/2.03 | 2.1 | 1.95/1.92 /1.94/1.93 | 1.97 | 2.44 | Kering |
| 54 | 2.75 | | 5.62 | 11.27/7.56 | | 7.81 | Kering |
| 55 | 2.9 | | 1.50/3.90 | | 1.7 | 1.78 | Sawah |
| 56 | 1.44 | 20.2 | | | | 1.5 | Sawah |
| 57 | 1.38 | 1.84 | | 3.24 | | 1.54 | Sawah |
| 58 | 2 | 99.9 | 1354 | 14.8/42.8 | 48.2 | 3.5 | Kering |
| 59 | 2.8 | 20.0/4.00 /7.6 | | 4.2 | 14 | 4.2 | Kering |
| 60 | 1.97 | | 5.8 | | | 2.11 | Kering |
| 61 | 2.1 | | | | 2.2 | 2 | Kering |
| 62 | 0.85 | 0.67 | | | | 1.27 | Kering |
| 63 | 5.8 | 4.6 | | 2.6 | | 2.65 | Kering |

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Perhitungan Nilai Tegangan Menara (Sambaran Pada Menara)

Sambaran langsung pada menara akan menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan dan dapat menyebabkan terjadinya *Backflashover* (Tegangan tembus balik).

Perhitungan nilai tegangan menara dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [10]:

$$V_m = I_s \times R_E + L \frac{di}{dt}$$

- Nilai V_m dengan asumsi nilai arus sambaran petir sebesar 20 kA
 $di/dt = 20/8 = 2,5$ kA
 $V_m = 20 \text{ kA} \times 5,8\Omega + 22 \mu\text{H} \times 2,5 \text{ kA}$
 $= 171 \text{ kV}$
- Nilai V_m dengan mengacu arus probabilitas sebesar 40 kA
 $di/dt = 40/8 = 5 \text{ kA}$

$$V_m = 40 \text{ kA} \times 5,8\Omega + 22 \mu\text{H} \times 5 \text{ kA}$$

$$= 342 \text{ kV}$$

- Nilai V_m dengan asumsi nilai arus sambaran petir sebesar 80 kA
 $di/dt = 80/8 = 10 \text{ kA}$
 $V_m = 80 \text{ kA} \times 5,8\Omega + 22 \mu\text{H} \times 10 \text{ kA}$
 $= 684 \text{ kV}$

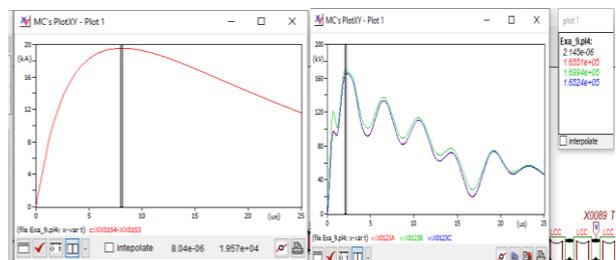
Tabel 4.1 Kondisi BiL Isolator (7 piringan) terhadap tegangan yang timbul pada sambaran menara No. 63

| Arus sambaran (kA) | di/dt (kA) | Nilai Tegangan menara (kV) | BiL Isolator (kV) |
|--------------------|------------|----------------------------|-------------------|
| 20 | 2,5 | 171 | 695 |
| 40 | 5 | 342 | |
| 80 | 10 | 684 | |

BIL (*Basic Insulation Level*) pada isolator merupakan tingkat isolasi dasar yang dirancang untuk menahan atau memproteksi peralatan-peralatan listrik yang disebabkan oleh sambaran petir dengan tegangan sangat besar.

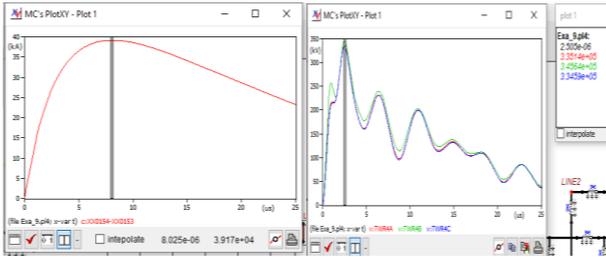
4.2 Hasil Simulasi pada Aplikasi ATPdraw

Simulasi yang dijalankan yaitu simulasi sambaran ke menara dengan arus yang sudah ditentukan yaitu dengan probabilitas 50% (40 kA), 80% (20 kA), dan 80 kA dengan resistansi menara sebesar 5,8 Ω pada tower 63. Berikut merupakan hasil dari simulasi ATPdraw.



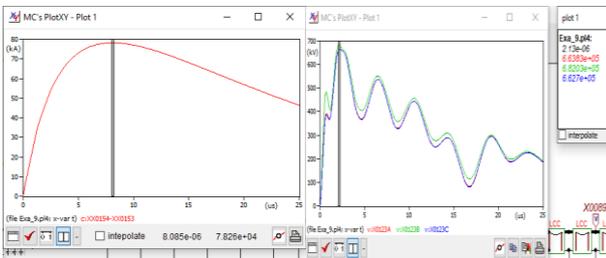
Gambar 4.1 Hasil simulasi sambaran pada T63 dengan arus sambaran 20 kA

Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat jika apabila menara terkena sambaran petir dengan arus 20 kA maka tegangan menara adalah 169,94 kV.



Gambar 4.2 Hasil simulasi sambaran pada T63 dengan arus sambaran 40 kA

Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat jika apabila menara terkena sambaran petir dengan arus 40 kA maka tegangan menara adalah 342 kV.



Gambar 4.3 Hasil simulasi sambaran pada menara T63 dengan arus sambaran 80 kA

Dari hasil simulasi tersebut dapat dilihat jika apabila menara terkena sambaran petir dengan arus 80 kA maka tegangan menara adalah 682,03 kV.

Tabel 4.2 Perbandingan antara hasil perhitungan nilai Vm dan hasil simulasi nilai Vm

| Arus Sambaran (kA) | di/dt (kA) | Hasil Perhitungan Nilai Vm T63 (kV) | Hasil Simulasi Nilai Vm T63 (kV) | Persentase Selisih |
|--------------------|------------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------------|
| 20 | 2,5 | 171 | 169,94 | 1% |
| 40 | 5 | 342 | 345,6 | -1% |
| 80 | 10 | 684 | 682,03 | 0,2% |

4.3 Perhitungan Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah

Tegangan Sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada di bawahnya. Tegangan langkah yaitu tegangan yang muncul di sela-sela dua kaki manusia ketika berdiri di atas permukaan tanah dan tiba-tiba dari jarak tertentu ada aliran arus gangguan hubung ke tanah.

4.4 Perhitungan Tegangan Sentuh dengan berat badan 50 Kg

Tegangan sentuh dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$E_s = \frac{0,116}{\sqrt{t}} (R_k + 1,5 ps) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$E_s = \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} (1000\Omega + 1,5 \times 2000\Omega -m)$$

$$= 656 V$$

4.5 Perhitungan Tegangan Sentuh dengan berat badan 70 Kg

Tegangan sentuh dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$E_s = \frac{0,157}{\sqrt{t}} (R_k + 1,5 ps) \dots\dots\dots(2-1)$$

$$E_s = \frac{0,157}{\sqrt{0,5}} (1000\Omega + 1,5 \times 2000\Omega -m)$$

$$= 888 V$$

4.6 Perhitungan Tegangan Langkah dengan berat badan 50 Kg

Tegangan langkah dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$E_f = \frac{0,116}{\sqrt{t}} (R_k + 6 ps) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$E_s = \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} (1000\Omega + 6 \times 2000\Omega -m)$$

$$= 2132 V$$

4.7 Perhitungan Tegangan Langkah dengan berat badan 70 Kg

Tegangan langkah dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$E_f = \frac{0,157}{\sqrt{t}} (R_k + 6 ps) \dots\dots\dots(2-2)$$

$$E_s = \frac{0,157}{\sqrt{0,5}} (1000\Omega + 6 \times 2000\Omega -m)$$

$$= 2886 V$$

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan,

1. Pada perhitungan tegangan langkah dan tegangan sentuh, jika diasumsikan pada berat badan orang dewasa 50 Kg dan 70 Kg di dapatkan hasil yaitu tidak melebihi batas tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan oleh IEEE Std. 80-2000 yaitu sebesar 890 untuk tegangan sentuh dan 3140 untuk Tegangan Langkah dengan waktu yang sama yaitu 0,5 (s).
2. Menurut perhitungan dan simulasi yang telah dilakukan bahwa nilai Vm saat terjadi sambaran petir tidak melebihi BIL pada isolator. Dimana nilai BIL isolator adalah 695 kV sementara pada tower dengan nilai pentanahan tertinggi nilai Vm nya adalah 171 kV saat diberi arus 20 kA, 342 kV saat diberi arus 40 kA, dan 684 kV saat diberi arus 80 kA. Maka pada T63 tidak terjadi *Back flashover* (BFO) sehingga dapat di kategorikan aman dan layak apabila terjadi gangguan-gangguan terutama gangguan sambaran petir.

5.2 Saran

Dari skripsi yang telah dikerjakan dengan saran dalam

pengembangan selanjutnya agar hasil penelitian dapat lebih baik lagi, antara lain sebagai berikut:

1. Diharapkan pada penelitian berikutnya dapat mengembangkan judul ini dengan data yang lebih lengkap.
2. Dapat dilakukan simulasi lebih banyak dan secara mendalam.
3. Perlu dilakukan pengecekan secara berkala terkait dengan pentanahan pada tower agar tidak menimbulkan kerusakan atau gangguan pada tower akibat sambaran petir

Daftar Pustaka

- [1] Luntungan, P, Renaldi (2018). Analisa Daerah Lindung dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover. Manado: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [2] Harry Budiman. Evaluasi Tegangan Sentuh Tegangan Langkah Dan Tegangan Pindah Gigit 275 Kv Bengkulu, jteuntan.
- [3] PT PLN. 2014. Buku pedoman pemeliharaan SUTT/SUTET PLN PDM/STT/10:2014. Jakarta: PT PLN (PERSERO).
- [4] PT PLN. 1979. SPLN 16 : 1979 Pedoman Penerapan Saluran Udara Tegangan – Tinggi 66 kV dan 150 kV Dengan Isolator Tonggak-Saluran. Jakarta: Depatemen Pertambangan dan Energi
- [5] PT PLN. 1996. SPLN 121 : 1996 Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi 70 kV dan 150 kV dengan Tiang Beton/Baja. Jakarta: PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO)
- [6] Yoppi. K. Putra (2017). Analisis Kemampuan Pentanahan Menara Sutt Terhadap Sambaran Petir Langsung Yang Mengakibatkan Backflashover Pada Saluran Transmisi 150 Kv Ponorogo – Manisrejo. Malang: Institut Teknologi Nasional Malang.
- [7] Hutaaruk, T. S (1987). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga Dan Pengetanahan Peralatan*, Gelora Aksara Pratama.
- [8] Hutaaruk, T. S (1987). *Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja*, Gelora Aksara Pratama.
- [9] Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). (n.d.). Jakarta: Yayasan PUIL.
- [10] Zoro, Reynaldo. 2018. Sistem Proteksi pada Sistem Tenaga Listrik. Remaja Rosdakarya.
- [11] M. Rajagukguk (2012). Studi Pengaruh Jenis Tanah dan Kedalaman Pembumian Driven Rod terhadap Resistansi Jenis Tanah. Riset Polnep.
- [12] Farmada. Andre (2016). Studi Pengukuran Tahanan Pentanahan Tower Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 500 KV Pedan-Ungaran. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.