

Analisa Pengaruh Perilaku Petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV Menggunakan Metode Burgsdorf

Erhaneli*, Afriliani

Institut Teknologi Padang, Padang

E-mail: erhanelimarzuki@gmail.com

ABSTRACT

Demand for electrical energy has been increasing from year to year due to population growth in line with economic growth occurs. This causes transfer generating power as central area to the load area in maximum load. SUTT (High Voltage Transmission Line) is the most widely used of transmission electrical energy. This transmission line susceptible to lightning strikes that cause disturbance. The purpose of writing this final task is to analyze the amount of interference caused by lightning strikes on a phase wire due to the failure of ground wire protection by Burgsdorf Method in SUTT (High Voltage Transmission Line 150 kV Payakumbuh – Koto Panjang with a length of 86 kilometers. From the calculation and analysis found that on a 41-meter tower lightning strike resulted in the amount of interference at the phase wire is larger, ie 5.0238 times the lightning/86 km conductor/year or disruption occurs once in 2.4 months hit by lightning with the area of protection of ground wire 49541 m².

Keywords: Lightning, High Voltage Transmission Line, Burgsdorf.

ABSTRAK

Kebutuhan terhadap energi listrik semakin meningkat dari tahun ketahun akibat pertumbuhan jumlah penduduk yang sejalan dengan pertumbuhan perekonomian yang terjadi. Hal ini menyebabkan transfer daya dari pusat pembangkit ke pusat beban semakin tinggi. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) merupakan salah satu media transmisi energi listrik yang banyak digunakan. Dimana saluran udara ini rentan terhadap sambaran petir yang dapat menyebabkan gangguan. Tujuan dari penulisan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh ketinggian menara terhadap jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah menggunakan metode Burgsdorf pada SUTT 150 kV dari GI Koto Panjang Ke GI Payakumbuh dengan panjang saluran 86 km. Dari hasil perhitungan dan analisa didapatkan bahwa pada menara dengan ketinggian 41 meter mengakibatkan jumlah gangguan sambaran petir pada kawat lebih besar yaitu 5.0238 kali sambaran petir/86 km penghantar/tahun atau gangguan terjadi sekali 2.4 bulan terkena sambaran petir dengan luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah sebesar 49541 m².

Kata kunci: Petir, SUTT, Burgsdorf.

1. PENDAHULUAN

Pada masa sekarang ini tersedianya energi listrik merupakan salah satu komponen yang penting dalam mendorong pertumbuhan perekonomian didalam suatu bangsa, baik dalam bidang industri, komersial, maupun untuk keperluan rumah tangga. Seiring dengan perkembangan ekonomi di Indonesia khususnya dalam bidang teknologi, kebutuhan akan tenaga listrik menjadi suatu keharusan dan perlu ditingkatkan keandalannya. Kontinuitas pelayanan dengan mutu yang baik dan tersedianya energi listrik yang cukup serta kualitas tegangan yang memadai merupakan tujuan yang hendak dicapai dalam perencanaan sistem tenaga listrik.

Secara geografis Indonesia terletak didaerah khatulistiwa yang beriklim tropis basah, dimana pada saat musim hujan, maka akan banyak terjadi petir. Di Indonesia petir merupakan salah satu gangguan alam yang rentan menyambar saluran transmisi, khususnya pada saluran udara tegangan tinggi. Sambaran petir pada saluran transmisi menyebabkan terjadinya tegangan lebih (*over voltage*) yang dapat

menimbulkan gangguan dalam penyaluran tenaga listrik. Selain itu sambaran petir ini juga dapat merusak berbagai peralatan isolasi dan komponen lain dalam sistem tenaga listrik karena menghasilkan tegangan dan arus yang sangat tinggi. Oleh karena gangguan akibat sambaran petir ini sangat mempengaruhi proses penyaluran sistem tenaga listrik, maka perlu dilakukan kajian yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang diakibatkan oleh gangguan sambaran petir. Sehingga proses penyaluran energi listrik ke konsumen tetap terjaga keandalannya.

Penelitian tentang perilaku petir dan akibat sambaran petir ini telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, dan menghasilkan beberapa metode diantaranya adalah [2] yang menjelaskan beberapa metode penentuan perilaku terkaman kilat pada penghantar saluran udara tegangan tinggi yaitu metode Burgsdorf yang merupakan metode empiris untuk menghitung jumlah gangguan kilat akibat kegagalan perlindungan kawat tanah dan juga merupakan

fungsi sudut proteksi dan metode Popolansky yang juga merupakan metode empiris untuk menghitung kegagalan perlindungan kawat tanah pada saluran.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Saluran Transmisi

Saluran transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari generator station atau pembangkit listrik menuju distribution station hingga sampai ke konsumen atau pengguna listrik. Secara umum saluran transmisi terdiri atas 3 macam, yaitu saluran udara, saluran bawah tanah, dan saluran bawah laut. Adapun komponen-komponen dari suatu saluran transmisi secara umum adalah sebagai berikut.

1) Konduktor

Konduktor adalah media untuk tempat mengalirkan arus listrik dari Pembangkit ke Gardu induk atau dari GI ke GI lainnya yang terbentang melalui tower-tower. Jenis-jenis kawat penghantar yang biasa digunakan pada saluran transmisi adalah tembaga konduktivitas 100%, tembaga konduktivitas 97,5%, aluminium konduktivitas 61%.

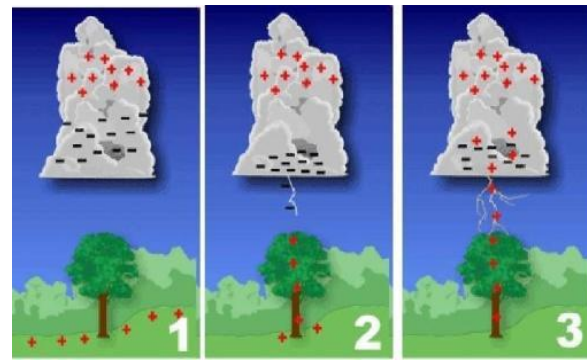
Kawat penghantar tembaga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan kawat penghantar aluminium, karena konduktivitas dan kuat tariknya yang lebih tinggi. Akan tetapi kawat penghantar tembaga juga memiliki kelemahan, yaitu untuk besar tahanan yang sama, tembaga lebih berat dan lebih mahal dari aluminium. Oleh karena itu saat ini kawat penghantar aluminium telah menggantikan kedudukan kawat penghantar tembaga.

2) Isolator

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menompang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah transmisi tegangan ekstra tinggi sampai dengan tegangan 525 kV, selain itu juga ada metode AIEE yaitu metode perhitungan jumlah gangguan terkaman kilat pada kawat tanah, dengan menggunakan studi analog komputer yang dilakukan oleh E.L. Harder dan J.M. Clayton pada tahun 1949. Berdasarkan hal ini pula penulis berkeinginan untuk melakukan kajian tentang perilaku petir pada saluran transmisi dengan tema Analisis Perilaku Petir pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dengan Menggunakan Metode Burgsdorf".

3) Menata Transmisi

Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat



Gambar 1 Proses terjadinya petir

telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan bendasekelingnya, dan untuk menyanggah merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara atau tower.

4) Kawat Tanah

Kawat tanah (ground steel wire) adalah kawat untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat tanah atau kawat perisai (shielding wire) pada jaringan ditempatkan diatas kawat fasa. Efektifitas perlindungan kawat tanah diharapkan mampu melindungi kawat fasa dengan baik, sehingga tidak terjadi sambaran petir langsung ke kawat fasa.

5) Pembumian

Pentanahan merupakan penghubungan bagian-bagian peralatan listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus, dan antara bagian-bagian tersebut dengan tanah, sampai pada suatu nilai yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan.

2.2 Proses Terjadinya Petir

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (*elektron*) dari awan ke bumi atau sebaliknya.

Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron

mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Petir lebih sering terjadi pada saat musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan yang bermuatan negatif dan awan yang bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.

2.3 Metode Penentuan Petir pada Menara Transmisi

Secara umum gangguan terkaman kilat atau perilaku kilat pada penghantar udara tegangan tinggi dapat dibagi menurut tempat dimana kilat itu menerkam, yaitu:

1. Gangguan kawat kilat pada kawat fasa atau gangguan kilat akibat kegagalan perlindungan kawat tanah,
2. Gangguan kilat pada kawat tanah terdiri tiga jenis gangguan, yaitu:
 - a. Gangguan kilat pada menara 60%
 - b. Gangguan kilat pada seperempat jarak dari menara (gangguan kilat diperempatan gawang), 30%
 - c. Gangguan kilat pada setengah jarak dari menara (gangguan kilat dipertengahan gawang), 10%

Jumlah gangguan total akibat terkamn kilat pada penghantar udara tegangan tinggi, dinyatakan dalam persamaan:

$$STR = SFO + O_t + O_q + O_m \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- STR : jumlah gangguan total per 100 km/ penghantar /pertahun (gangguan spesifik)
- SFO : jumlah gangguan kilat pada kawat fasa/100 km/ penghantar /tahun
- O_t : jumlah gangguan kilat pada menara
- O_q : jumlah gangguan kilat pada seperempat jarak dari menara (diperempatan pada gawang)
- O_m : jumlah gangguan kilat pada setengah jarak dari menara (di pertengahan gawang)

1) Metode Burgsdorf

Metode Burgsdorf merupakan metode empiris untuk menghitung jumlah gangguan kilat akibat kegagalan perlindungan kawat tanah dan juga merupakan fungsi sudut proteksi. Untuk mengetahui jumlah gangguan total tersebut perlu diketahui jumlah hari guruh rata-rata pertahun (IKL) dari daerah penghantar udara tegangan tinggi

tersebut berada. IKL ini digunakan untuk menentukan kepadatan kilat per satuan luas daerah per tahun, dengan persamaan:

$$D = 8,875 \times 10^{-8} \times IKL \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dengan :

- D : Kepadatan kilat permeter persegi pertahun
- IKL : Jumlah hari guruh pertahun

Dengan menggunakan harga kepadatan kilat diatas, dan dengan mengetahui luas daerah yang dilindungi kawat tanah, maka jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi pada penghantar udara tegangan tinggi, dapat di tentukan dengan persamaan :

$$A = (2\pi + 1)H_t^2 \times IKL \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$L = 100 \times \left(\frac{1000}{S}\right) \times A \times D \quad \dots\dots\dots(4)$$

Dengan :

- S : panjang gawang rata – rata (meter)
- H_g : tinggi kawat tanah rata–rata (meter)
- H_t : tingg menara (meter)
- A : luas daerah yang dilindungi kawat tanah (meter persegi)
- L : jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi (sambaran petir/100 km penghantar /tahun

Untuk mencari kemungkinan kegagalan perlindungan kawat tanah dapat digunakan persamaan Burgsdorf:

$$\text{Log}P_\theta = 0,06 \times \theta \times 2,2 \quad \dots\dots\dots(5)$$

Jumlah gangguan akibat kegagalan perlindungan kawat tanah terhadap kawat fasa dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$SFO = P_\theta \times L \quad \dots\dots\dots(6)$$

- SFO : jumlah gangguan petir pada kawat fasa akibat kegagalan erlindungan kawat tanah (petir/100 km /penghantar /tahun)
- P_θ : probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah (%)

2) Metode Popolansky

Metode Popolansky juga merupakan metode empiris untuk menghitung kegagalan perlindungan kawat tanah pada saluran transmisi tegangan tinggi dan tegangan ekstra tinggi sampai dengan 525 kV. Persamaan Popolansky ini diturunkan berdasarkan data pengamatan yang dikumpulkan Burgsdorf.

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\text{Log } P_{\theta} = \emptyset \frac{\sqrt{Ht}}{75} - 3,95 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dengan :

- P_{θ} : probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah (%)
- Ht : tinggi kawat tanah pada menara (meter)
- \emptyset : sudut proteksi kawat tanah (derajat)

Setelah probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah (P_{θ}) dihitung, maka SFO dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) di atas.

3) Metode AIEE

Metode AIEE adalah metode perhitungan jumlah gangguan terkaman kilat pada kawat tanah, dengan menggunakan studi analog komputer yang dilakukan oleh E.L. Harder dan J.M. Clayton pada tahun 1949. Metode ini menggunakan suatu model saluran transmisi dan suatu gelombang arus terkaman kilat tiruan dikenakan pada puncak menara dan pertengahan gawang. Kemudian tegangan – tegangan yang dibangkitkan diukur. Persamaan dasar yang digunakan dalam metode AIEE adalah sebagai berikut:

$$V_{bil} = I \times V_t (I - K) \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dengan :

- V_{bil} : tegangan kekuatan isolasi (tegangan kritis lewat denyar)
- I : arus terkaman kilat kritis yang dapat menyebabkan terjadinya lewat denyar
- V_t : tegangan per unit arus terkaman kilat
- K : faktor kopling antara kawat tanah ke

kawat fasa

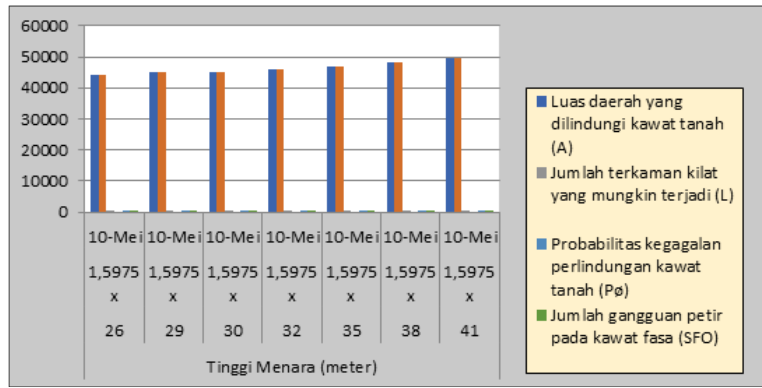
3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan adalah menghitung probabilitas atau kemungkinan jumlah gangguan yang terjadi pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) yang disebabkan oleh gangguan terkaman kilat terhadap kawat fasa yang diakibatkan oleh kegagalan perlindungan kawat tanah. Perhitungan dilakukan berdasarkan data–data teknis sesuai dengan lokasi kajian yakni Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI Payakumbuh ke GI Koto Panjang. Adapun data-data yang digunakan adalah :

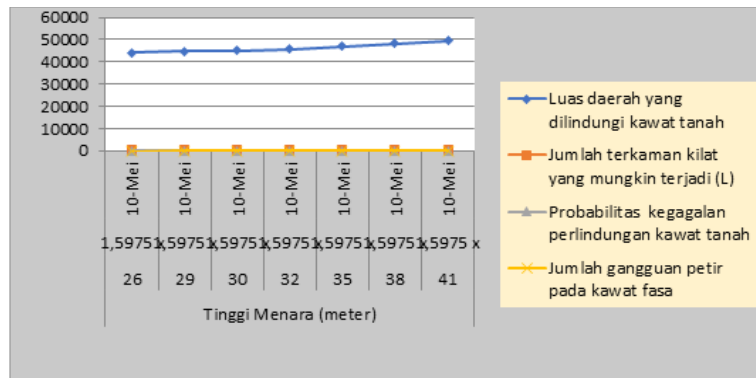
1. Data jumlah hari guruh pertahun yang dilalui penghantar untuk daerah Payakumbuh sampai ke daerah Koto Panjang dengan panjang saluran 86 km yang didapat dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Geofisika Klas I Padang Panjang
2. Data Teknis Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV GI Payakumbuh ke GI Koto Panjang
3. Langkah-langkah perhitungan sebagai berikut
 - a. Menghitung kepadatan kilat per meter persegi pertahun.
 - b. Menghitung luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah
 - c. Menghitung jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi.
 - d. Menghitung probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah.
 - e. Menghitung Jumlah gangguan akibat kegagalan perlindungan kawat tanah.
 - f. Menghitung Jumlah gangguan akibat kegagalan perlindungan kawat tanah terhadap kawat fasa.

Tabel 1 Rekapitulasi hasil perhitungan untuk Panjang saluran 86 km

No	Perhitungan yang dilakukan	Tinggi Menara (meter)						
		26	29	30	32	35	38	41
1	Kepadatan kilat (D)	1.5975	1.5975	1.5975	1.5975	1.5975	1.5975	1.5975
		10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei
2.	Luas daerah yang dilindungi kawat tanah (A)	44096	44923	45228	45881	46970	48190	49541
		44096	44923	45228	45881	46970	48190	49541
3	Jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi (L)	178	182	183	185	190	195	200
4	Probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah (P_{θ})	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251
5	Jumlah gangguan petir pada kawat fasa (SFO)	4.4712	4.5716	4.5968	4.647	4.7726	4.8982	5.0238



Gambar 2 Karakteristik jumlah sambaran petir untuk Panjang saluran 86 km



Gambar 3 Karakteristik jumlah sambaran petir untuk Panjang saluran 100 km

Tabel 2 Rekapitulasi hasil perhitungan untuk Panjang saluran 100 km

No	Perhitungan yang dilakukan	Tinggi Menara (meter)						
		26	29	30	32	35	38	41
1	Kepadatan Kilat (D)	1,5975	1,5975	1,5975	1,5975	1,5975	1,5975	1,5975
		10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei	10-Mei
2	Luas daerah yang dilindungi kawat tanah	44096	44923	45228	45881	46970	48190	49541
3	Jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi(L)	207	211	213	216	221	226	233
4	Probabilitas kegagalan perlindungan kawat tanah	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251	0,0251
5	Jumlah gangguan petir pada kawat fasa	5,1996	5,3001	5,3503	5,4257	5,5513	5,6769	5,8527

4. HASIL PERHITUNGAN

ari hasil perhitungan yang telah dilakukan terhadap jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah menggunakan metode Burgsdorf, secara keseluruhan dirangkum dalam tabel 1 yakni Rekapitulasi Hasil Perhitungan Untuk Panjang Saluran 86 km dan tabel 2 adalah Rekapitulasi Hasil Perhitungan untuk panjang saluran 100 km. Sedangkan karakteristk perilaku terhadap ketinggian menara ditunjukkan pada gambar 2 untuk panjang saluran 86 km dan gambar 3 untuk panjang saluran

100 km.

Dari tabel 1 dan gambar 2 dapat di jelaskan bahwa jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah (SFO) terbesar terjadi pada menara paling tinggi 41 meter dengan jumlah sambaran 5.0238 gangguan /87 km/th,atau terjadi sekali dalam 2.4 bulan pada panjang saluran 86 km. Sedangkan Jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah (SFO) terkecil terjadi pada menara paling rendah 26 meter sebesar

4.4712 ganggaun / 86 km / tahun atau terjadi sekali dalam 2.7 bulan disepanjang 86 km penghantar pertahun. Begitupun untuk panjang saluran 100 km, fenomena terjadi gangguan hampir sama dengan panjang saluran 86 km.

Semakin panjang suatu saluran transmisi, maka jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah (SFO) akan semakin besar, sebaliknya jika semakin pendek suatu saluran transmisi maka jumlah gangguan sambaranpetir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah (SFO) juga akan semakin kecil.

Ketinggian menara yang bervariasi sesuai dengan yang ada pada saluran transmisi dari GI Payakumbuh - GI Induk Koto Panjang dengan ketinggian mulai dar 26 m; 29 m; 30 m, 32 m, 35 m ; 38 m dan 41 m. Ketinggian menara ini juga berpengaruh terhadap perubahan nilai luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah (A) dan jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi sepanjang saluran (L). Dimana semakin tinggi kawat tanah pada menara (H_t) maka akan semakin tinggi pula nilai luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah (A) dan jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi (L). Sebaliknya semakin rendah kawat tanah pada menara (H_t) maka akan semakin rendah pula nilai luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah (A) dan juga jumlah terkaman kilat yang mungkin terjadi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisa yang telah dilakukan terhadap jumlah gangguan terkaman kilat pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan

kawat tanah dengan menggunakan metode Burgsdorf sepanjang Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV dari Gardu Induk Payakumbuh ke Gardu Induk Koto Panjang dengan panjang saluran 86 km, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Jumlah sambaran petir tertinggi terjadi pada menara dengan ketinggian 41-meter yaitu 200 kali sambaran petir/ 86 km penghantar/ tahun dengan luas daerah yang dilindungi oleh kawat tanah **sebesar 49541 m²**
2. Jumlah gangguan sambaran petir pada kawat fasa akibat kegagalan perlindungan kawat tanah tertinggi terjadi pada menara dengan ketinggian 41-meter yaitu **5,0238** kali

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benyamin Franklin, Petir peristiwa pelepasan muatan, Amerika, 1752
- [2] Dr. KT. Sirait dan Ir. R. Zoro "Perlindungan Terhadap Tegangan Lebih Pada Sistem Tenaga Listrik", ITB, Bandung:1986
- [3] Sepannur Bandri, "Analisa Gangguan Petir SUTT 150 kV Dengan Memperhatikan Tegangan Pada Lightning Arrester dan Trafo", Padang:2015
- [4] Rahman Effendi, "Analisa Gangguan Transmisi Yang Disebabkan Sambaran Petir Berdasarkan Variasi Lintasan Saluran", Padang:2016
- [5] T.S. Hutauruk, "Metode Untuk Menghitung Gangguan Kilat Pada Kawat Transmisi Tegangan Tinggi" (1964).
- [6] T.S. Hutauruk, "Gelombang Berjalan Dan Proteksi Surja" penerbit Erlangga (1991)
- [7] Tomi G. dan Lestari Naomi LP, "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir Dengan Metode SAW", Bali:2014