



Analisis Sistem Pengaman Menara Seluler *Smartfren* Pada Perumahan Masyarakat Di Kelurahan Umban Sari

Abrar Tanjung¹, Elvira Zondra²

¹Universitas Lancang Kuning, email : abrar@unilak.ac.id,

²Universitas Lancang Kuning, email : elviraz@unilak.ac.id

Abstrak

Petir merupakan peristiwa alam berupa pelepasan energi sesaat (energy storage) berupa rangkaian aliran listrik yang sangat besar yang akan di lepaskan oleh alam semesta dengan tujuan ke bumi yang bersifat netral. Untuk mengatasi bahaya yang ditimbulkan akibat adanya sambaran petir penelitian dilakukan dengan menggunakan metoda bola gelinding (rolling sphere) dan sistem pentanahan yang terdapat pada menara Smartfren sebagai sistem pengaman dalam melindungi dan mengurangi dampak kerusakan pada perumahan masyarakat. Berdasarkan hasil analisa pembahasan diperoleh Elektroda Vinial sebagai penangkal petir yang dipasang pada menara PT. Smartfren mampu untuk melindungi perumahan atau bangunan yang berada di area menara dengan sudut lindung $25,98^\circ$ dengan jarak sudut lindung sebesar 128,15 meter. Besar nilai tahanan pentanahan yang dipasang pada area menara PT. Smartfren sebesar 59,5 ohm.

Kata Kunci : Elektroda vinial, sambaran petir, sistem pentanahan

Abstract

Lightning is a natural event such as instantaneous release of energy (energy storage) are a series of very large electric current which will be release by the universe with the aim to Earth neutral . To overcome the dangers posed due to lightning strikes conducted research using the method of rolling the ball (rolling sphere) and a grounding system which is attached to the tower Smartfren as a safety system to protect and reduce the impact of damage to the housing society . Based on the analysis results obtained Electrodes discussion Vinial as a lightning rod mounted on the tower PT . Smartfren able to protect the housing or buildings which are in a protected area with a corner tower $25,98^\circ$ with protected angular distance of 128.15 meters. Great grounding resistance value which is mounted on the tower area PT . Smartfren of 59.5 ohms.

Keywords : Vinial electrodes , lightning , grounding system

1. Pendahuluan

Petir merupakan peristiwa alam berupa pelepasan energi sesaat (*energy storage*) berupa rangkaian aliran listrik yang sangat besar yang akan di lepaskan oleh alam semesta dengan tujuan ke bumi yang bersifat netral. Untuk mencegah bahaya kerusakan dan kehancuran yang disebabkan oleh besarnya tenaga rangkaian listrik yang dilepaskan oleh alam tersebut, maka

diperlukan alat penyebab terjadinya sambaran petir, baik penyebab terjadinya sambaran petir konvensional maupun radius sebagai solusi agar terhindar dari ancaman bahaya & kerusakan yang di sebabkan oleh sambaran petir.

Bencana petir dapat berupa serangan petir yang mengganggu transmisi listrik tegangan tinggi, dan dapat merenggut nyawa bagi yang terkena serangan langsung. Begitu besar bahaya yang ditimbulkan akibat adanya sambaran petir ini, sehingga masyarakat perlu waspada dan hati-hati pada saat terjadi hujan disertai petir, apalagi bagi masyarakat yang tinggal berada di bawah atau di sekitar menara BTS (*Base Transceiver Station*) *Smartfren*. Untuk mengetahui pengaruh yang diakibatkan oleh sambaran petir terhadap perumahan di kelurahan Umban Sari. Akibat sambaran tersebut terjadi kerusakan-kerusakan peralatan listrik pada perumahan masyarakat.

Metode sudut lindung perlindungan merupakan metode pertama kali yang diperkenalkan . Setelah Benjamin Franklin menemukan Franklin rod, yaitu alat proteksi petir berupa kerucut tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner. Pada umumnya Franklin rod dipasang pada pipa besi (dengan tinggi 1-3 meter) agar memperbesar area perlindungannya. Semakin jauh suatu bangunan atau struktur dari Franklin rod maka semakin lemah perlindungan di dalam daerah perlindungan tersebut [1].

Penelitian di lapangan yang memberikan keakuratan data sebesar 95%, seperti yang telah diuji oleh N.I Petrov dan Waters di menara televisi moskow yang memiliki ketinggian 540m [2].

Metoda penelitian dilakukan dengan menggunakan metoda bola gelinding (*rolling sphere*) dan sistem pentanahan yang terdapat pada menara *Smartfren* sebagai sistem pengamanan dalam melindungi dan mengurangi dampak kerusakan pada perumahan masyarakat. Pengumpulan data dilakukan dengan cara survey lapangan untuk mengumpulkan data primer dari menara dan jenis finial yang terpasang sekarang ini, serta gambaran umum sistem pentanahannya menara *Smartfren*. Tujuan penelitian ini untuk melakukan evaluasi dan menghitung besar nilai tahanan pentanahan menara *Smartfren* dan bangunan disekitar menara, melakukan evaluasi dan perhitungan sistem perlindungan sambaran petir menara *Smartfren*. Manfaat penelitian adalah mengevaluasi dan menghitung nilai tahanan pentanahan peralatan menara dan bangunan disekitar menara, menghitung besar nilai tahanan pentanahan netral pada menara *Smartfren*, menghitung sistem perlindungan sambaran petir pada menara *Smartfren*

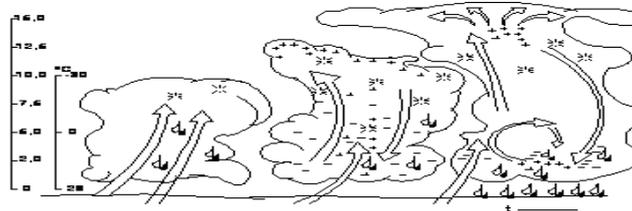
2. Tinjauan Pustaka

Analisis pemetaan sambaran petir akibat bangunan BTS terhadap lingkungan dan sekitarnya di kota Medan dapat membantu semua pihak dalam meminimalisir resiko bencana yang diakibatkan oleh sambaran petir. Berdasarkan hasil overlay peta klasifikasi intensitas sambaran petir menunjukkan intensitas petir tinggi terdapat pada kecamatan yang banyak terdapat bangunan BTS [3].

Sistem proteksi petir merupakan suatu sistem yang sangat diperlukan pada saat ini, mengingat peralatan listrik semakin berkembang dengan pesat. Sistem ini melindungi kita baik dan peralatan listrik kita dari sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung (*lightning electromagnetic pulse*). Di Indonesia sendiri sebagai kawasan dengan intensitas petir yang tinggi, sistem ini mutlak diperlukan. Secara umum, sistem proteksi petir terdiri dari dua yaitu sistem proteksi eksternal dan sistem proteksi internal [4].

Petir pada alam merupakan peristiwa alami loncatnya muatan-muatan listrik diantara awan ke awan atau awan ke permukaan bumi. Persyaratan utama terjadinya loncatan muatan elektron di awan dimulai dari pergerakan angin ke atas (*Up-Draft*) di dalam awan *Cumulus*

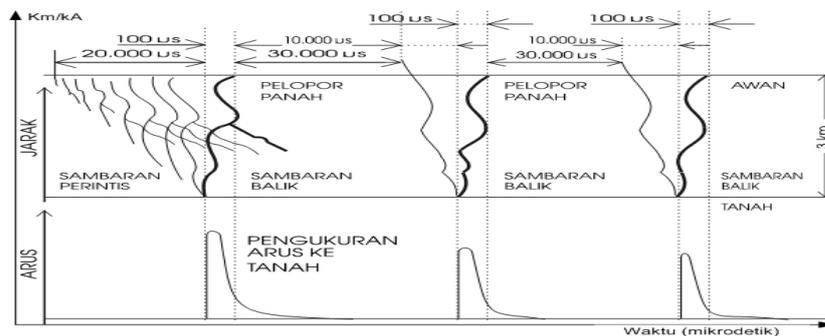
yang kuat seperti pada Gambar 1. kecepatan pergerakan angin dapat mencapai 150 km/jam. Didalam awan, uap air berkondensasi menjadi partikel air yang lebih kecil lagi namun partikelnya lebih stabil.



Gambar 1. Pembentukan Sel Bermuatan Listrik Pada Awan Petir.

2.1 Tahapan Sambaran Petir Ke Bumi

Pada saat *gradien* listrik (loncatan muatan listrik) di awan melebihi harga tembus udara yang terionisasi, maka terjadilah aliran pengemudi (*Pilot streamer*) sebagai penentu arah perambatan muatan dari awan ke udara yang ionisasinya rendah, diikuti dengan titik cahaya. Setiap sambaran petir bermula sebagai lidah petir (*Stepped leader*) yang bergerak turun dari awan bermuatan, kemudian gerakan aliran pengemudi yang diikuti dengan lompatan titik cahaya di namakan pelopor berubah-ubah, sehingga secara keseluruhan jalannya tidak lurus dan patah-patah [5]. Bila kanal petir dari komponen petir pertama telah dekat ke permukaan bumi, maka dengan proses yang sama dari bumi akan terbentuk pula kanal muatan positif yang menuju ke awan sebagai akibat beda potensial yang tinggi seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Sambaran Petir Ke Tanah Serta Arus Impuls Yang Terjadi

Kebutuhan proteksi dapat dikelompokkan menjadi beberapa kelompok yaitu : proteksi normal, proteksi tinggi dan proteksi sangat tinggi. Proteksi normal misalnya untuk proteksi gedung, bangunan pada daerah pedesaan dan daerah-daerah industri. Kebutuhan untuk proteksi yang lebih tinggi misalnya pada daerah-daerah yang *eksplosif* atau bahan-bahan yang mudah meledak. Kebutuhan proteksi sangat tinggi untuk suatu instalasi dimana suatu sambaran petir pada instalasi tersebut dapat menyebabkan pengaruh/bahaya yang sangat besar [6].

2.2 Bahaya Yang Di Timbulkan Oleh Sambaran Petir

Bahaya yang timbul akibat sambaran petir pada manusia kebanyakan di sebabkan oleh sambaran tidak langsung, yang terjadi jika seseorang berdiri di dekat objek yang tersambar petir sehingga ada arus petir paralel melalui tubuh orang tersebut. Proses ini berlangsung sebagai berikut arus petir mengalir di sekitar titik atau tempat yang tersambar petir akan menyebar ke segala arah, sehingga menimbulkan *gradien* tegangan di sekitar tempat tersebut. Dengan demikian bila seseorang melangkahakan kakinya pada *gradien* tersebut, maka timbullah perbedaan potensial, sehingga ada arus yang mengalir pada tubuh yang disebut juga tegangan langkah. Aliran ini dapat membahayakan keselamatan orang tersebut [7].

Adapun standar-standar umum sistem proteksi petir yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Standar Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)
- b. Standar Nasional Indonesia (SNI 03 – 7015 -2004).
- c. Standar *National Fire Protection Asosiation* (NFPA).
- d. Standar *International Electrical Commision* (IEC)

Semakin besar nilai R, semakin besar pula bahaya serta kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Berarti semakin besar pula kebutuhan bangunan tersebut akan adanya suatu sistem proteksi petir. Penangkal petir (PUIPP), ditulis dengan persamaan 1.

$$R = A + B + C + D + E. \quad (1)$$

Keterangan :

- A : Bahaya berdasarkan jenis bangunan
 B : Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
 C : Bahaya berdasarkan tinggi bangunan
 D : Bahaya berdasarkan situasi bangunan
 E : Bahaya berdasarkan hari guruh yang terjadi

Perkiraan akan bahaya petir terhadap bangunan menurut NFPA 780, di tulis dengan persamaan 2.

$$R = \frac{A + B + C + D + E}{F} \quad (2)$$

Berdasarkan standar IEC 1024-1-1, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem penangkal petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (Nd) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (Nc) yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada (Ng) dinyatakan sebagai berikut :

$$Ng = 0,04.T_d^{1,25} / km^2 / tahun. \quad (3)$$

$$Nd = Ng.Ae.10^{-6} / tahun. \quad (4)$$

$$Ae = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2. \quad (5)$$

Keterangan :

- A = Panjang kawasan (m)
 b = Lebar kawasan (m)
 h = Bangunan tertinggi (m)

Ae = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar Nd (Km²)

Dapat diketahui bahwa Ae adalah area cakupan dari struktur (m²) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya pemasangan proteksi petir pada bangunan/kawasan berdasarkan perhitungan Nd dan Nc dilakukan sebagai berikut :

Jika $N_d < N_c$ tidak perlu SPP.

Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistim proteksi petir.

$$E = 1 - (N_c/N_d) \quad (6)$$

2.3 Hari Guruh

Menurut definisi *World Meteorologi Organazation* (WMO) hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh disebut juga hari badai guntur (*thunder storms days*). Data Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia yang jumlah hari badai guntur pertahun cukup tinggi, antara lain sebagian daerah

Sumatera, daerah Jawa Barat, Jawa Tengah dan daerah Irian Jaya dimana hari badai gunturanya lebih dari 100 hari pertahun [8].

2.4 Sistem Penangkal Petir Eksternal

Sistem proteksi adalah instalasi dan alat-alat diluar sebuah struktur untuk penangkal dan menghantar arus petir ke sistem pembumian atau berfungsi sebagai ujung tombak penangkap muatan listrik atau arus petir di tempat tertinggi. Sistem proteksi eksternal yang baik terdiri atas:

- a. Air terminal atau interseptor
- b. Down conductor
- c. Equipotensialisasi
- d. Proteksi pembumian atau pentanahan

2.5 Distribusi Arus Puncak

Arus puncak petir yang digunakan dalam menentukan jarak sambaran petir terhadap penangkal petir atau sudut lindung suatu penangkal petir ditentukan dari tingkat proteksi yang diinginkan, menurut Reynaldo Zoro dalam buku diktat pelatihan sistem proteksi dan sistemgrounding untuk keperluan *engineering* dalam perencanaan suatu penangkal petir eksternal diperlukan arus puncak dengan statistik 50 % [8]

Menurut simpson dan Scraze seperti yang dikutip Antonov (1994 : 2) hasil pengamatan pada awan yang bisa menimbulkan sambaran petir, tinggi antara muatan pada pusat dari awan adalah 15.000 – 30.000 feet (460 – 9150 meter), dimana lebih lanjut menurut *whitehead* yang dikutip oleh Sirait dan Raynaldo Zoro menyatakan bahwa jarak sambaran petir (*striking distance*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

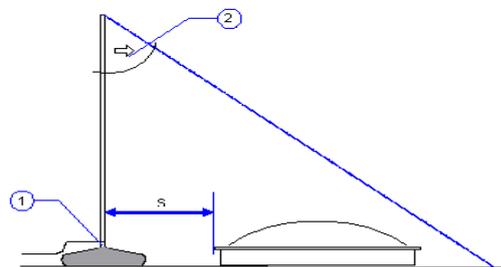
$$r = 6,7 \cdot I^{0,8} \text{ m} \tag{7}$$

Keterangan :

- r = jari-jari petir
I = arus petir

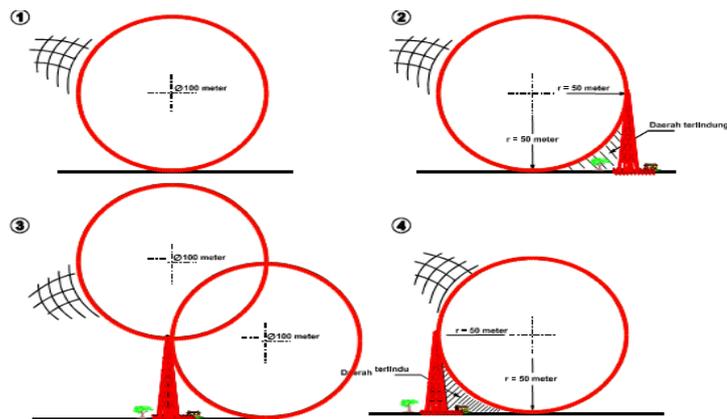
2.6 Sistem Perlindungan Dengan Menggunakan Metoda Bola Gelinding (*Rolling Sphere*)

Teori atau metoda perlindungan semula menggunakan model sudut lindung dengan membuat *finial* atas penangkal petir yang diletakkan sedemikian rupa sehingga seluruh infrastruktur objek yang dilindungi terletak dalam ruangan yang dihasilkan oleh *finial* atas dengan membentuk sudut perlindungan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sudut Lindung Suatu Penangkal Petir

Metoda bola gelinding dipergunakan untuk menentukan letak *finial* atas dengan tepat agar dapat memberikan ruang perlindungan pada seluruh struktur yang akan diproteksi, dimana pemakaian metoda sudut lindung sesuai ketentuan tidak dapat digunakan [9].



Gambar 4. Teori Bola Gelinding

2.7 Jarak Sambaran

Jarak sambaran (*striking distance*) adalah jarak antara ujung lidah petir yang bergerak kebawah (*downward leader*) bertemu dengan petir penghubung yang bergerak keatas (*connecting leader*) pada suatu titik-titik ini disebut titik sambar. Menurut empiris jarak sambaran merupakan fungsi dari arus puncak petir dan sebagian peneliti juga menurunkan jarak sambaran juga adalah fungsi tinggi struktur, ada beberapa nama peneliti untuk mendapatkan jarak sambaran tersebut pada tabel 1 [9].

Tabel 1. Karakteristik Petir Dan Kondisi Cuaca Di Daerah Tropis

	Karakteristik	Polaritas Negatif	Polaritas Positif
Arus puncak	Maksimum	280 kA	298 kA
	Tangkuban Perahu Jawa Barat	335 kA	392 kA
	Probability 50 %	40 kA	18 kA
	Rata-rata	41 kA	30 kA
Kecuraman (di/dt)	Maksimum	119 kA/ μ s	120 kA/ μ s
	Probability 50 %	30 kA/ μ s	20 kA/ μ s
Kerapatan sambaran (sambaran/km ² /tahun)		4,1 – 12,4	1,5 – 3,8
Kerapatan sambaran total (sambaran/km ² /tahun)		7,9 – 15,5	

Sumber : data reynald zoro, 2008

2.8 Perbandingan Tegangan Jatuh Down Conductor

Jarak sambaran petir dan sudut lindung diperoleh kemudian dihitung besaran tegangan jatuh ketanah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = I \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (8)$$

Keterangan :

I = Besaran arus petir 40 kA

R = Tahanan tanah (ohm)

L = Induktansi BC 1 μ H/m

di/dt = Impuls arus petir 40 kA/ μ S

2.9 Sistem Pentanahan

Salah satu faktor utama dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik dilaksanakan maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar [10].

Syarat sistem pentanahan yang efektif :

- a. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengaman personil dan peralatan dengan menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surya hubung.
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk memastikan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam perawatan dan perbaikan bila terjadi kerusakan.

Untuk menghitung tahanan pentanahan suatu bangunan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{4}} \quad (9)$$

Keterangan :

R : tahanan pentanahan (ohm)

ρ : resistivitas tanah (ohm-meter)

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Perhitungan Indeks Kebutuhan Penangkal Petir

Besarnya kebutuhan suatu bangunan terhadap instalasi penangkal petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerugian serta bahaya yang ditimbulkan bila bangunan tersambar petir. Perkiraan besarnya kebutuhan suatu bangunan terhadap instalasi penangkal petir sebagai berikut:

$$\begin{aligned} R &= A + B + C + D + E \\ R &= 3 + 2 + 2 + 1 + 8 \\ R &= 16 \end{aligned}$$

Maka indeks perkiraan bahaya petir adalah 16 dan berdasarkan standar $R > 14$, maka bangunan yang ada disekitar menara sangat memerlukan proteksi terhadap petir.

3.2 Menghitung Kerapatan Sambaran Petir Ke Tanah Rata-Rata Tahunan

Berdasarkan persamaan (3) besar kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan diperoleh sebagai berikut :

$$\begin{aligned} N_g &= 0,04 \cdot T_d^{1,25} \text{ km}^2/\text{tahun} \\ N_g &= 0,04 \times 511^{1,25} \\ N_g &= 20,49 \text{ km}^2/\text{tahun} \end{aligned}$$

3.3 Menghitung Daerah Area Ekvivalen Menara PT. *Smartfren*

Daerah area ekvivalen untuk menara PT. *Smartfren* mempunyai panjang (a) 10 meter, lebar (b) 10 meter dan tinggi (h) 72 meter, maka dapat dihitung berdasarkan persamaan (5) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} A_e &= ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \\ A_e &= (10 \times 10) + \{(6 \times 10) \times (10+10) + 9 \times 22,7 (72)^2\} \\ A_e &= 100 + \{60 \times 20 + 204 (5184)\} \\ A_e &= 100 + 1200 + 1057536 \\ A_e &= 1058836 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3.4 Menghitung Frekuensi Sambaran Petir Langsung (N_d)

Frekuensi sambaran petir langsung (N_d) diperkirakan ke bagian yang diproteksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} N_d &= N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6}/\text{tahun} \\ N_d &= 20,49 \times 1058836 \times 10^{-6}/\text{tahun} \\ N_d &= 21,7/\text{tahun} \end{aligned}$$

3.5. Menentukan Efisiensi Sistem Proteksi Petir Dan Tingkat Proteksi Petir

Berdasarkan data dari BMKG Propinsi Riau diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan adalah $10^{-6}/\text{tahun}$. Nilai $N_d > N_c$, maka diperlukan sistem proteksi petir dan efisiensi SPP dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E &= 1 - (N_c/N_d) \\ E &= 1 - (10^{-6}/21,7) \\ E &= 1,007 \end{aligned}$$

3.6. Perhitungan Daerah Lindung Sambaran Petir Menggunakan Metoda *Rolling Sphere*

Jarak sambaran terhadap penangkal petir dengan persamaan 7 berdasarkan probabilitas 50 % besaran arus petir 40 kA, maka diperoleh jarak sambar sebagai berikut :

$$\begin{aligned} r &= 6,7 \times I^{0,8} \text{ m} \\ &= 6,7 \times 40^{0,8} \\ &= 128,15 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jarak Sambaran Petir

No	Arus Petir (kA)	Jarak Sambar (m)	Sudut Lindung (°)
1	40	128,15	25,98
2	60	177,25	36,44
3	100	266,73	46,89
4	200	464,41	57,67

Berdasarkan probabilitas 50 % dengan besaran arus 40 kA, maka diperoleh sudut lindung sebagai berikut :

$$\alpha = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{h}{r} \right) \right]$$

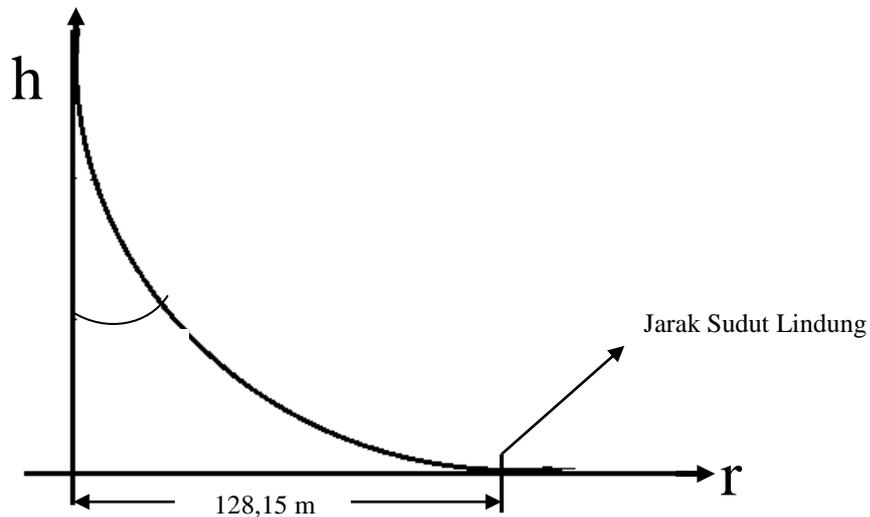
$$\alpha = \sin^{-1} \left[1 - \left(\frac{72}{128,15} \right) \right]$$

$$\alpha = \sin^{-1} [1 - 0,562]$$

$$\alpha = \sin^{-1} [0,438]$$

$$\alpha = 25,98^\circ$$

Berdasarkan hasil perhitungan jarak sambaran petir diperoleh karakteristik petir dan kondisi cuaca didaerah tropis, arus puncak dengan probabilitas 50 % bernilai 40 kA berpolaritas negatif (tabel 2) [9]. Hasil perhitungan jarak sambaran petir dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Jarak Sudut Lindung

3.7 Perhitungan Besarnya Jatuh Tegangan (*Down Conductor*)

Perhitungan besar jatuh tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 8 sebagai berikut :

$$V = I \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$V = 40 \times 0,48 + 82,6 \times (1) \times 40$$

$$V = 4072 \text{ kV}$$

3.8 Perhitungan Pentanahan Menara PT. *Smartfren*

Berdasarkan persamaan 9 perhitungan tahanan pentanahan pada menara PT. *Smartfren*, maka nilai tahanan pentanahan dengan jenis tanah liat sebesar 100 ohm-meter diperoleh :

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{4}}$$

$$= \frac{100}{4} \sqrt{\frac{22,7}{4}}$$

$$= 59,5 \Omega$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa pembahasan sistem proteksi penangkal petir eksternal yang terpasang pada areal perumahan, maka dapat disimpulkan :

- a. Pemasangan menara PT. *Smartfren* pada perumahan tidak memiliki resiko atau bahaya bagi perumahan di Kelurahan Sri Meranti.
- b. Vinial sebagai penangkal petir yang dipasang pada menara PT. *Smartfren* mampu untuk melindungi perumahan atau bangunan yang berada di area menara dengan sudut lindung 25, 98° dengan jarak sudut lindung sebesar 128,15 meter.
- c. Besar nilai tahanan pentanahan yang dipasang pada area menara PT. *Smartfren* sebesar 59,5 ohm.

Daftar Pustaka

- [1] T. Horvarth, "*Rolling Sphere-Theory and Application*," 25th ICLP, 2000 : hal 301-305
- [2] N.I. Petrov, R.T. Waters, *Determination of the striking distance of lightning to earthed structures*. Proc. Roy. Soc. A, 1995, v.450, 589-601
- [3] Lestari Naomi, *Analisis Pemetaan Sambaran Petir Akibat Bangunan Bts Terhadap Lingkungan Dan Sekitarnya Di Kota Medan*, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, vol 11 no 2, Nopember, 2010.
- [4] Spannur Bandri, "*Sistem Proteksi Petir Internal Dan Ekternal*", Jurnal Teknik Elektro ITP, Volume 3 No. 1; Januari 2014
- [5] Aris A. Munandar, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Cetakan kedelapan, 2001.
- [6] Hutauruk, "*Gelombang Berjalan dan proteksi Surja*", Erlangga, Jakarta, 1991
- [7] Hutauruk, "*Pengetanahan Netral Sistem Tenaga*", Erlangga, Jakarta, 1991.
- [8] Abdul Hadi, As Pabla, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga, Cetakan Pertama, 1994
- [9] Zoro, Reynaldo, "*Pelatihan Sistem proteksi dan Sistem Grounding*", ITB, Bandung, 2008.
- [10] LIPI, "*Peraturan Umum Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia*", Direktorat Penyelidikan Masalah bangunan, Jakarta, 2006.