

PENENTUAN KEBUTUHAN PROTEKSI PETIR PADA GEDUNG TEKNIK ELEKTRO UNDIP DENGAN ADANYA BANGUNAN MENARA *BASE TRANSCIEVER STATION*

Tri Suhartanto*, Juningtyastuti **, Abdul Syakur **

Abstrak – Petir merupakan fenomena alam terjadinya loncatan muatan listrik akibat adanya beda potensial antara awan dengan bumi. Potensi terbesar terjadinya sambaran petir langsung adalah pada struktur bangunan yang tinggi. Dengan adanya bangunan menara *Base Transceiver Station* (BTS PT. Telkomsel, [nama site/ site ID: Polines/ SMG 088]) yang berdekatan dengan gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang, maka dibutuhkan Sistem Proteksi Petir yang tepat pada gedung Teknik Elektro UNDIP. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis Sistem Proteksi Petir eksternal pada gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang dan bangunan menara BTS yang terdiri dari sistem terminasi-udara, sistem konduktor penyalur dan sistem pentanahan yang ada, sehingga dapat diketahui kemampuan kerja penangkap petir, kebutuhan Sistem Proteksi Petir untuk perlindungan bangunan akibat sambaran petir serta perencanaan sistem proteksi, pemasangan dan penempatan titik penangkap petir yang tepat.

Teknis analisis data menggunakan cara analisis data kualitatif interrepresentatif dan analisis statik Sistem Proteksi Petir eksternal dengan langkah analisis pendefinisian Zoning Area Proteksi (ruang proteksi) melalui metode perlindungan (metode sudut lindung, metode jala, metode bola gelinding) petir dan pengadaan sistem pentanahan (grid, rod, grid dan rod) serta penentuan besarnya parameter-parameter petir sesuai dengan level atau tingkat proteksi.

Kata kunci: Sistem Proteksi Petir eksternal, analisa resiko sambaran petir, ruang proteksi, elevasi tegangan*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Petir merupakan fenomena alam terjadinya loncatan atau pelepasan muatan listrik akibat adanya beda potensial antara awan dan bumi. Letak Indonesia pada daerah katulistiwa dengan iklim tropis dan kelembaban yang tinggi mengakibatkan terjadinya hari guruh yang sangat tinggi dan mempunyai kerapatan sambaran petir yang besar jika dibandingkan dengan negara lain.

Pembangunan infrastruktur menara *Base Treansceiver Station* (BTS) sebagai pusat pemancar atau penerima gelombang elektromagnetik merupakan salah satu wujud perkembangan teknologi telekomunikasi. Konstruksi bangunan menara BTS yang tinggi banyak menimbulkan permasalahan terutama mengenai perlindungan keamanan bangunan, karena struktur bangunan tinggi sangat rawan mengalami gangguan baik secara mekanik maupun gangguan alam. Dalam hal ini, salah satu gangguan alam yang terjadi adalah petir. Sambaran petir yang terjadi baik

secara langsung maupun tidak langsung dapat mengakibatkan kenaikan tegangan pada sistem (termasuk pentanahan) serta dapat menimbulkan kerusakan pada bangunan, peralatan dan instalasi BTS maupun objek yang berada disekitar atau terhubung dengan menara BTS.

Untuk melindungi dan mengurangi dampak kerusakan akibat sambaran petir maka dibutuhkan sistem proteksi petir pada bangunan. Dengan mengetahui level atau tingkatan proteksi pada bangunan dan analisis pendefinisian zoning area proteksi melalui beberapa metode penempatan terminasi udara dan pengadaan sistem pentanahan yang ada maka dapat diketahui kebutuhan proteksi petir pada gedung Teknik Elektro UNDIP dengan adanya bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [nama site/ site ID: Polines/ SMG 088].

1.2 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah menentukan kebutuhan perlindungan Sistem Proteksi Petir pada gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang akibat sambaran petir langsung pada bangunan menara *Base Transceiver Station* (BTS) PT. Telkomsel Semarang [nama site/ site ID: Polines/ SMG 088] dengan memperhatikan existing sistem pentanahan yang ada.

1.3 Pembatasan Masalah

1. Tugas Akhir ini ditekankan pada:

- Penentuan ruang proteksi dari penangkap petir. Metode dan parameter petir diperoleh berdasarkan level atau tingkat proteksi yang mengacu standar SNI 03-7015-2004 dan untuk perhitungan kebutuhan SPP bangunan mengacu pada Standar IEC 1662, dalam hal ini tidak menjelaskan prinsip kerja penangkap petir.
 - Perhitungan jarak aman SPP eksternal dari bangunan dengan memperhatikan sistem pentanahan yang ada pada gedung A dan gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang dan tidak membahas SPP internal.
 - Perhitungan arus sambar yang dapat ditangkap SPP Eksternal bangunan.
 - Perhitungan untuk menentukan tegangan lebih akibat sambaran petir langsung pada menara BTS dan tidak membahas tegangan lebih pada gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang.
2. Perlindungan petir yang digunakan adalah penangkap petir yang ada pada gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang dan bangunan menara BTS (PT. Telkomsel, [nama site/ site ID: Polines/ SMG 088]).
3. Perhitungan dan tampilan gambar dilakukan dengan bantuan program *Visual Basic*.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Terjadinya Petir

2.1.1 Pembentukan Awan Bermuatan

Proses pembentukan awan bermuatan diawali dengan adanya aliran udara naik ke lapisan atmosfer karena perbedaan tekanan akibat panas sinar matahari dan

* Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNDIP

** Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro UNDIP

pengaruh angin yang membawa uap air dengan kandungan partikel bebas. Semakin tinggi dari permukaan tanah temperatur udara semakin dingin sehingga uap air dan partikel bebas berubah menjadi kristal es. Di dalam awan, kristal es bermuatan positif, sedangkan titik-titik air bermuatan negatif.

2.1.2 Peluahan Muatan Petir

Ketika kuat medan listrik diawan melebihi harga kuat medan tembus udara (30 kV/cm) maka akan terjadi lidah pelopor (pilot streamer) yang menentukan arah perambatan lidah petir (leader) dari awan ke udara. Gerakan lidah pelopor diikuti oleh lompatan- lompatan titik cahaya yang jalannya terputus-putus (step leader). Terjadinya sambaran petir selalu diawali oleh lidah- lidah petir yang bergerak turun (downward leader) dari awan bermuatan.

Semakin besar muatan maka beda potensial antara awan dan tanah akan bertambah sehingga semakin besar pula medan listrik yang terjadi. Jika medan listrik yang ditimbulkan melebihi kuat medan tembus udara ketanah maka akan terjadi pelepasan atau peluahan muatan listrik (discharge) pada saat itulah terjadi kilat atau petir (sambaran petir).

2.2 Frekuensi Sambaran Petir

2.2.1 Frekuensi Sambaran Petir Langsung

Jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (N_d) dapat dihitung dengan perkalian kepadatan kilat ke bumi pertahun (N_g) dan luas daerah perlindungan efektif pada bangunan (A_e).^[10]

$$N_d = N_g \cdot A_e \quad (2.1)$$

Kerapatan sambaran petir ketanah dipengaruhi oleh hari guruh rata- rata pertahun di daerah tersebut.

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1,26} \quad (2.2)$$

Sedangkan luas daerah perlindungan pada bangunan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \quad (2.3)$$

Sehingga, dari substitusi persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan (2.1) dapat diperoleh persamaan nilai N_d adalah:

$$N_d = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1,26} (ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2) \quad (2.4)$$

di mana :

- a = Panjang atap gedung (m)
- b = Lebar atap gedung (m)
- h = Tinggi atap gedung (m)
- T = hari guruh pertahun
- N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/Km²/tahun)
- A_e = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar N_d (Km²)
- N_d = Jumlah rata – rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun

2.2.2 Frekuensi Sambaran Petir Tidak Langsung

Rata– rata frekuensi tahunan N_n dari kilat yang mengenai tanah dekat bangunan dapat dihitung dengan perkalian kerapatan kilat ke tanah pertahun N_g dengan cakupan daerah di sekitar bangunan yang disambar A_g .

$$N_n = N_g \cdot A_g \quad (2.5)$$

Luas daerah cakupan disekitar bangunan yang menyebabkan suatu tambahan potensial akibat sambaran ketanah dapat dihitung:

$$A_g = ab + 2ap + 2bp + \pi p^2 - A_e \quad (2.6)$$

2.3 Resiko Kerusakan Akibat Sambaran Petir

2.3.1 Kerusakan Akibat Tegangan Langkah dan Tegangan Sentuh

Besar resiko kerusakan akibat tegangan langkah dan tegangan sentuh adalah :

$$P_h = k_h \cdot P'_h \quad (2.7)$$

2.3.2 Kerusakan Akibat Bunga Api yang Dikarenakan Sambaran Petir

Besar kerusakan akibat bunga api yang dikarenakan sambaran petir (P_t) adalah :

$$P_t = k_t \cdot P'_t \quad (2.8)$$

$$P_n = k_n \cdot P'_n \quad (2.9)$$

di mana n = 1, 2, 3 dan 4.

2.3.3 Tingkat Kerusakan Akibat Sambaran Petir Per Tahun

Frekuensi kerusakan tiap tahun (F) pada bangunan dapat dihitung dari jumlah tingkat frekuensi kerusakan akibat sambaran langsung (F_d) dan sambaran tidak langsung (F_i).

$$F = F_d + F_i \quad (2.10)$$

dimana

$$F_d = N_d p_h + N_d p_t (p_1 + p_2 + p_3 + p_4) \quad (2.11)$$

$$F_i = N_n p_t p_3 + P_t N_k p_3 \quad (2.12)$$

Sehingga,

$$F = N_d p_h + N_d p_t (p_1 + p_2 + p_3 + p_4) + N_n p_t p_3 + P_t N_k p_3 \quad (2.13)$$

2.3.4 Kemungkinan Orang Berada di Tempat Berbahaya

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{t}{8760} \right)^n \quad (2.14)$$

di mana :

- n = jumlah orang di tempat berbahaya
- t = waktu/tahun orang berada di tempat berbahaya (jam/tahun)

2.3.5 Tingkat Kerusakan yang Dapat Diterima Bangunan

Nilai frekuensi kerusakan akibat sambaran petir sesuai batas aman yang dapat diterima bangunan besarnya adalah sebagai berikut :

$$F < F_a \quad (2.15)$$

$$\text{Dimana } F_a = \frac{R_a}{\delta} \quad (2.16)$$

2.4 Kebutuhan Bangunan akan Sistem Proteksi Petir terhadap Sambaran Petir

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang Sistem Proteksi Petir pada bangunan dalam penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir adalah sebagai berikut:

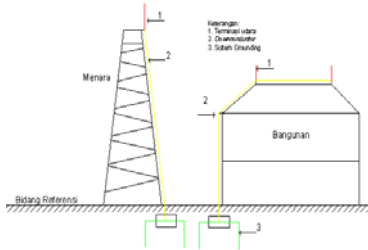
1. Jika $F \leq F_a$ tidak perlu Sistem Proteksi Petir.
2. Jika $F > F_a$ diperlukan Sistem Proteksi Petir dengan efisiensi :

$$E_c = 1 - \frac{F_d}{F} \quad (2.17)$$

Tabel 2.1 Efisiensi Sistem Proteksi Petir^[17]

Tingkat Proteksi	Efisiensi Sistem Proteksi Petir (E)
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

2.5 Sistem Proteksi Petir Eksternal



Gb.2.1 SPP eksternal

Sistem Proteksi Petir (SPP) eksternal adalah sistem instalasi dan alat- alat diluar suatu struktur yang berfungsi untuk menangkap muatan listrik (arus petir) ditempat tertinggi dan menghantarkan arus petir ke sistem pembumian.

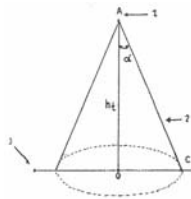
2.5.1 Terminasi-Udara (Air Termination)

Terminasi Udara adalah bagian sistem proteksi petir eksternal yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir, berupa elektroda logam yang dipasang secara tegak maupun mendarat.

Beberapa metoda rancangan SPP eksternal yang digunakan untuk menentukan penempatan terminasi-udara dan untuk mengetahui daerah proteksi antarlain:

Metode Sudut Lindung (Protective Angle Method)

Metode sederhana dengan membuat daerah lindung sesuai dengan konduktor tegak, dimana daerah yang diproteksi berada didalam kerucut dengan sudut proteksi sesuai dengan tingkat proteksi pada tabel 2.2.



Gb. 2.2 Metode Sudut Lindung

Dimana:

1. Ujung finial atas
2. Daerah terliindung adalah ruang didalam kerucut,
3. Permukaan tanah referensi. h_t : tinggi titik A diatas permukaan referensi, OC: radius proteksi, α : sudut proteksi sesuai dengan tingkat proteksi seperti pada tabel satandar.

Tabel 2.2 Penempatan terminasi-udara sesuai dengan tingkat proteksi^[17]

Level proteksi	Rolling Sphere r (m)	Sudut lindung (α°)				Lebar mesh (m)
		20 m	30 m	45 m	60 m	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

* hanya menggunakan rolling sphere dan mesh

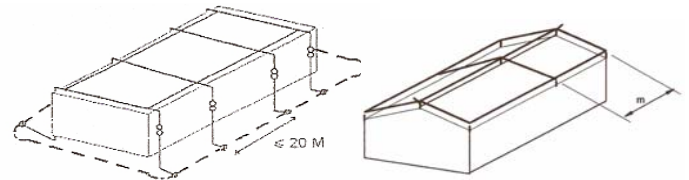
Adapun besar sudut proteksi penangkap petir E.F Lightning Protection System dinyatakan dalam tabel berikut:

Tabel 2.3 Sudut Proteksi E.F Lightning Protection System.

Kelas	Sudut Proteksi
I	30 ⁰
II	45 ⁰
III	60 ⁰

Metode Jala (Mesh Method)

Metode jala juga dikenal dengan metode sangkar faraday. Pada metode ini finial batang tegak, konduktor atap, saling dihubungkan sehingga membentuk poligon tertutup (jala), dengan ukuran sesuai dengan tingkat proteksi (tabel 2.2). Daerah ruang proteksi adalah keseluruhan daerah yang ada terletak dibawah jala.



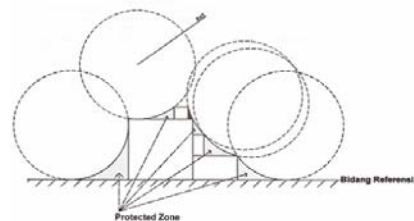
Gb. 2.3 Metode Jala

Jika sistem terminasi udara terdiri dari jala konduktor, paling sedikit diperlukan dua konduktor penyalur dengan nilai rata- rata jarak antar konduktor penyalur tidak lebih dari nilai yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 2.4 Jarak rata- rata antar konduktor penyalur menurut level proteksi^[17]

Level Proteksi	Jarak rata- rata konduktor penyalur (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Metode Bola Gelinding (Rolling Sphere Method)



Gb. 2.4 Metode Rolling Sphere

Metode berdasarkan elektromeetri dimana ruang proteksinya adalah daerah perpotongan antara bidang referensi, bangunan dan keliling bola gelinding, dengan jari- jari sesuai tingkat proteksi pada tabel 2.2.

2.5.2 Konduktor Ke bawah (Down Conductor)

Konduktor ke bawah merupakan bagian sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk menyalurkan arus petir dari terminasi-udara ke sistem pembumian.

2.5.3 Sistem Terminasi-bumi (Grounding System)

Sistem terminasi-bumi berfungsi untuk meneruskan dan menyebarkan arus petir ke bumi. Besar gradien tegangan pada permukaan tanah tergantung pada tahanan jenis tanah atau sesuai dengan struktur tanah, salah satu cara untuk memperkecil tegangan permukaan tanah adalah dengan pemasangan elektroda pentanahan dalam bentuk

dan dimensi yang sesuai ditanam ke dalam tanah sehingga diperoleh tahanan pentanahan yang kecil

Jarak aman sistem pentanahan dari gedung atau logam terdekat dan tidak terhubung ke sistem panangkap petir dapat dicari dengan persamaan berikut^[18] :

$$D = 1/5.R \quad (2.18)$$

Dimana : R: Tahanan Pentanahan (Ω)
D: Jarak aman sistem pentanahan dari bangunan atau logam yang tidak terhubung dengan SPP Eksternal.

2.6 Bidang Sambar dan Jarak Sambar

Bidang sambar merupakan tempat kedudukan titik-titik sambar. Gerakan busur petir negatif kebawah dari awan menuju bumi mempunyai pola zig zag hingga ujung lidah petir cukup dekat untuk membangkitkan busur listrik ke atas dari suatu benda di tanah disebut jarak sambar (S).

Hubungan antara arus dengan jarak sambar menurut Whitehead adalah sebagai berikut

$$S = 8.I^{0,65} \quad (2.19)$$

Dimana S merupakan jari- jari ruang proteksi yang dapat diperoleh dari tabel 2.2.

2.7 Elevasi Tegangan

Sambaran petir langsung pada bangunan dapat mengakibatkan tegangan lebih (elevasi tegangan) pada SPP eksternal bangunan. Tegangan lebih ($V_{Elevasi}$) yang terjadi merupakan penjumlahan dari nilai tegangan induktansi ($V_{Induksi}$) dan nilai tegangan permukaan tanah ($V_{Pentanahan}$). Besar tegangan lebih yang terjadi akibat sambaran petir langsung dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$V_{Elevasi} = i.R + L \frac{di}{dt} \quad (2.20)$$

Dimana:

$V_{Elevasi}$: Elevasi tegangan pada sistem pentanahan (kV)

i : Arus puncak petir (kA)

R : Tahanan kaki bangunan (ohm)

L : Induktansi menara/ penghantar arus (μH)

di/dt : Kecuraman gelombang arus petir (kA/ μs)

Dengan mengetahui tingkat proteksi petir suatu bangunan maka dapat diketahui besarnya nilai parameter petir yang terjadi, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Kaitan parameter arus petir dengan tingkat proteksi^[17]

Parameter Petir		Tingkat Proteksi		
		I	II	III- IV
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan total	Q_{total} (C)	300	225	150
Muatan impuls	Q_{impuls} (C)	100	75	50
Energi Spesifik	W/R (kJ/ Ω)	10 000	5 600	2 500
Kecuraman rata-rata	di/dt 30/90% (kA/ μs)	200	150	100

III. KEBUTUHAN SISTEM PROTEKSI PETIR PADA GEDUNG TEKNIK ELEKTRO UNDIP DAN MENARA BTS PT. TELKOMSEL SEMARANG [Site Name/Site ID: Polines/ SMG 088]

3.1 Umum

Gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP terletak di wilayah Kelurahan Tembalang, tepatnya Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang Semarang di sebelah tenggara gedung Rektorat Universitas Diponegoro Semarang. Pada tahun 2006 dekat dengan Jurusan Teknik Elektro didirikan menara *Base Transveceiver Station* PT. Telkomsel Semarang [Site Name/ Site ID: Polines/ SMG 088] sebagai stasiun pemancar dan penerima gelombang telekomunikasi. Struktur bangunan yang tinggi berpotensi besar mengalami kerusakan akibat sambaran petir langsung. Hal ini menyebabkan kebutuhan akan sistem proteksi petir pada bangunan relatif berbeda, selain ketinggian banyak faktor lain diantaranya jenis permukaan atap, letak bangunan, ukuran bangunan dan bahan bangunan yang digunakan.

3.1.1 Gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang

Jurusan Teknik Elektro mempunyai dua buah gedung utama berlantai tiga, gedung A untuk ruang administrasi jurusan dan gedung B sebagai ruang kelas serta laboratorium. Selain itu juga terdapat bangunan ruang gudang dan ruang genset disebelah timur gedung A. Data spesifikasi dari bangunan tersebut dapat ditunjukkan tabel berikut ini:

Tabel 3.1 Data Karakteristik Bangunan.

Karakteristik Bangunan	Gedung A	Gedung B	Gudang	Genset
Tinggi Bangunan, (h) meter	21,03	19,00	5,50	3,50
Panjang Bangunan (a) meter	30,00	40,50	7,00	7,00
Lebar Bangunan, (b) meter	31,40	47,90	8,00	12,00
Jumlah Orang, (n) Orang/ tahun	12240	30096	240	12
Waktu Hadir, (t) Jam/ tahun/orang	1920	1920	1920	96
Kerapatan Petir, (T) Kilat/ tahun	121	121	121	121
Tahanan Pentanahan, (R), Ohm	2,98	5,00		
	4,00			
Tahanan Jenis Tanah, (ρ) Ohm-km	0,140	0,237		
	0,189			
Jarak Pembumian dari Bangunan, (D) meter	3	1,7		
Jarak antar Konduktor Penyalur, meter	27,50	56,45		
Permukaan Luar Gedung	Beton/paving	Beton/paving		
Jenis Bangunan dan Karakteristik Material	Biasa; Beton	Biasa; Beton		

Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Peralatan Proteksi.

	Komponen Proteksi	Jenis Bahan	Bentuk	Ukuran	Panjang	Jumlah
Gedung	Penangkal Petir Batang Tegak	Baja Galvanis	Pipa Silinder	$r = 10mm$	0,82 m	2
	Penangkal Petir Datar	Tembaga	Pilin	50 mm ²	9,53 m	1

A	Penghantar Penyalur Utama	Tembaga	Pilin	50 mm ²	60,64 m	2
	Elektroda Pembumian	Baja Galvanis	Profil O	Ø3/4 "	-	2
G e d u n g	Penangkal Petir Batang Tegak	Baja Galvanis	Pipa Silinder	r = 10mm	2 m	6
	Penangkal Petir Datar	Tembaga	Pilin	50 mm ²	57,25 m	5
B	Penghantar Penyalur Utama	Tembaga	Pilin	50 mm ²	45,02 m	2
	Elektroda Pembumian	Baja Galvanis	Profil O	Ø3/4 "	-	2

3.1.2 Menara Base Transceiver Station PT. Telkomsel Semarang

Bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] terletak disebelah timur gedung A jurusan Teknik Elektro dengan karakteristik daerah perbukitan memiliki data spesifikasi bangunan sebagai berikut:

Tabel 3.3 Data Karakteristik Bangunan.

Data karakteristik bangunan	Ukuran
Tinggi bangunan, h	72 m
Panjang bangunan, a	15 m
Lebar bangunan, b	15 m
Jumlah orang, n	24 Orang/ tahun
Waktu hadir, t	36 Jam/ tahun/ orang
Kerapatan petir, T	121 Kilat/ tahun
Tahanan Pentanahan, R	0,027 Ω
Tahanan jenis tanah, ρ	0,000915 Ω -km
Induktansi menara/ kabel menara exiting, L	1,662 μ H
Permukaan luar gedung	Beton/ Paving
Jenis bangunan	Mudah Meledak
Karakteristik material	Rangka Besi

Tabel 3.4 Spesifikasi Bahan Peralatan Proteksi.

Komponen Proteksi	Jenis Bahan	Bentuk	Ukuran	Panjang	Jumlah
Penangkal Petir Batang Tegak	Baja Galvanis	Pipa Silinder	r = 10 mm	2 m	1
Penghantar Penyalur Utama	Tembaga	Pilin	50 mm ²	72 m	-
Elektroda pbumian	Tembaga	Pilin (BC)	50 mm ²	7 m	-
	Tembaga	Silinder Pejal	Ø5/8"	4 m	6
	Tembaga	Plat Pejal	t= 3 mm	1 m x 1 m	1

3.2 Indeks Kebutuhan Bangunan Terhadap Sistem Proteksi Petir

Indeks kebutuhan bangunan terhadap sistem proteksi adalah hasil penjumlahan dan perkalian beberapa koefisien yang telah ditunjukkan melalui persamaan (2.1) sampai dengan persamaan (2.17).

Tabel 3.5 Data keadaan fisik bangunan gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang berdasarkan Indeks Kebutuhan Gedung Terhadap Sistem Proteksi Petir.

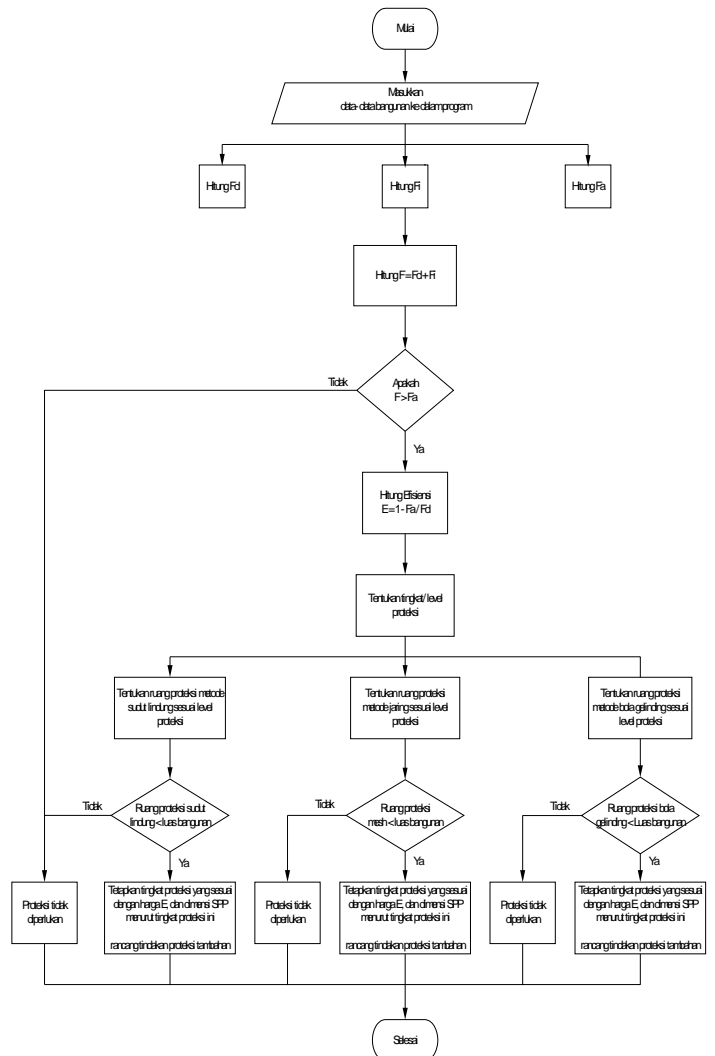
Indeks	Data	Nilai
--------	------	-------

p'_h	Tanah, beton	10^{-2}
k_h	Tanpa LPS	1
p'_t	Biasa	10^{-3}
k_t	Fasilitas gedung	0,7
p'_1 dan p'_2	Rangka besi, Beton bertulang	0,5
k_1 dan k_2	Tanpa LPS	1
k_3	SPD	10^{-3}
k_4	SPD	10^{-3}
R_a	Rugi inventaris	10^{-3}

Tabel 3.6 Data keadaan fisik bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] berdasarkan Indeks Kebutuhan bangunan terhadap Sistem Proteksi Petir.

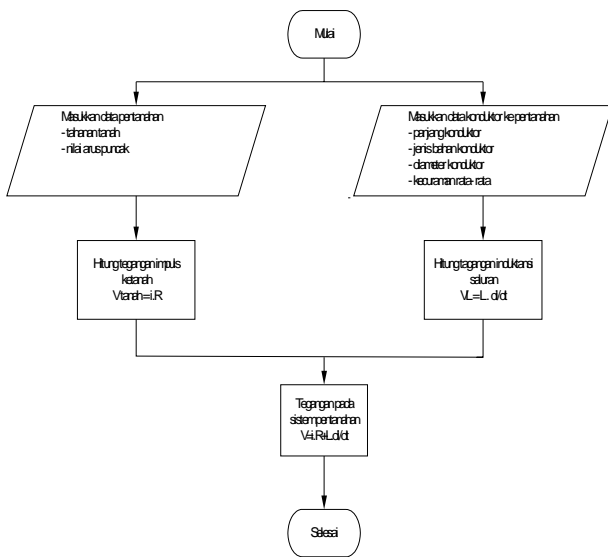
Indeks	Data	Nilai
p'_h	Tanah, beton	10^{-2}
k_h	Tanpa LPS	1
p'_t	Mudah meledak	1
k_t	Instalasi Otomatis	0,6
p'_1 dan p'_2	Metalik	0,05
k_1 dan k_2	Tanpa LPS	1
k_3	SPD	10^{-3}
k_4	SPD	10^{-3}
R_a	Rugi inventaris	10^{-3}

3.3. Algoritma Prosedur Penentuan Besar Ruang Proteksi Berdasarkan Tingkat Proteksi.



Gb. 3.1 Diagram alir penentuan besar ruang proteksi berdasarkan tingkat proteksi.

3.4 Algoritma Prosedur Perhitungan Tegangan Lebih pada SPP Eksternal Akibat Sambaran Petir Langsung.



Gb. 3.2 Diagram alir perhitungan tegangan lebih pada SPP eksternal akibat sambaran petir langsung

IV. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

4.1 Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Gedung Teknik Elektro UNDIP Semarang

Dari keseluruhan hasil perhitungan kebutuhan SPP pada Bangunan Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang apabila ditabelkan maka akan tampak hasilnya seperti pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan Kebutuhan Sistem Proteksi Petir pada gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang.

Perhitungan	Nilai Perhitungan		
	Gedung A Bagian Depan [$\rho = 0,140 \Omega\text{-km}$]	Gedung A Bagian Belakang [$\rho = 0,189 \Omega\text{-km}$]	Gedung B Bagian Belakang [$\rho = 0,237 \Omega\text{-km}$]
Frekuensi kerusakan akibat sambaran petir langsung (F_d)	0,003894 654	0,003894 654	0,004004 448
Frekuensi kerusakan akibat sambaran petir tidak langsung (F_i)	0,000002 563	0,000004 566	0,000007 526
Nilai resiko kerusakan total (F)	0,003897 218	0,003899 221	0,004011 974
Nilai Kerusakan yang dapat diterima bangunan (F_a)	0,001	0,001	0,001
Efisiensi SPP (E_c)	0,743	0,743	0,750
Tingkat Level Proteksi	IV	IV	IV
Arus sambaran Petir yang dapat ditangkap LPS	21,82 kA	21,82 kA	21,82 kA
Jarak aman sistem pentanahan dengan bangunan	0,59 m	0,8 m	1 m
Jarak rata-rata antar konduktor penyalur	3 m	3 m	1,7 m
Sudut perlindungan	55^0 (R= 31,20 m)	55^0 (R= 31,20 m)	55^0 (R= 29,99 m)

Lebar Jala	20 m	20 m	20 m
Jari- jari Rolling Sphere	60 m	60 m	60 m
Kebutuhan SPP Eksternal terhadap Ruang Proteksi	Gedung A		Gedung B
- Metode Sudut Lindung	Ya	Ya	Ya
- Metode jala	Ya	Ya	Ya
- Metode Rolling Sphere	Ya	Ya	Tidak

Dari tabel 4.1 dapat dilihat bahwa Gedung A dan gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang memiliki nilai resiko kerusakan tiap tahun pada bangunan (F) lebih besar dari nilai kerusakan yang dapat diterima bangunan (F_a) sehingga berpotensi besar mengalami gangguan sambaran petir oleh karena itu dibutuhkan Sistem Proteksi Petir dengan efisiensi 0,743 untuk gedung A dan gedung B sebesar 0,750 atau berada pada level proteksi IV. Peningkatan level proteksi pada bangunan tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan nilai $F < F_a$. Dimana diharapkan setelah dipasang sistem proteksi nilai resiko kerusakan akibat sambaran langsung (F_d) akan sangat berkurang sehingga nilai F juga akan berkurang dan bangunan gedung aman atau memiliki resiko kerusakan kecil akibat sambaran petir.

Dari tabel 4.1, dapat diketahui bahwa bangunan gedung A dan gedung B memiliki SPP dengan level proteksi tingkat IV. Jika disesuaikan dengan (tabel 2.2) akan didapatkan nilai jarak sambar atau jari- jari ruang proteksi untuk level proteksi tingkat IV adalah sebesar 60 meter. Sehingga dengan menggunakan metode Whitehead sesuai persamaan (2.19) dapat diperoleh besar arus sambaran yang dapat ditangkap oleh SPP adalah sebesar 21,82 kA.

Berdasarkan tabel 3.1 dengan menggunakan persamaan (2.18) dapat diketahui bahwa jarak aman sistem pentanahan dari gedung A Jurusan Teknik Elektro UNDIP bagian depan dengan tahanan pentanahan $2,98 \Omega$ adalah sebesar 0,59 meter dan untuk bagian belakang dengan tahanan pentanahan $4,00 \Omega$ adalah sebesar 0,8 meter. Sedangkan dari tabel 3.3 dapat diketahui gedung B dengan nilai tahanan pentanahan bagian depan 5Ω , maka diperoleh jarak aman sistem pentanahan sebesar 1 meter. Perhitungan ini dimaksudkan untuk lebih meningkatkan faktor keamanan pada bangunan, peralatan maupun orang yang berada didalam gedung.

4.2 Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan Menara BTS PT. Telkomsel [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088].

Dari keseluruhan hasil perhitungan kebutuhan SPP pada Bangunan Menara BTS PT. Telkomsel Semarang apabila ditabelkan maka akan tampak hasilnya seperti pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Hasil perhitungan Kebutuhan Sistem Proteksi Petir pada menara Base Transceiver Station PT. Telkomsel Semarang (dengan tahanan jenis tanah $\rho = 0,000915 \Omega\text{-km}$)

Perhitungan	Nilai Perhitungan Menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] [$\rho = 0,000915 \Omega\text{-km}$]		
	F_d	0,191475512	
F_i	- 0,001604993		
F	0,189870519		

F_a	0,011
E_c	0,94
Tingkat Proteksi	Tingkat II
Arus sambaran Petir yang dapat ditangkap LPS	7,56 kA
Tegangan lebih pada kaki menara BTS	253,35 kV
Sudut perlindungan	45^0 (R = 74 m)
Lebar Jala	10 m
Jari- jari Rolling Sphere	30 m
Kebutuhan SPP Eksternal terhadap Ruang Proteksi	Menara BTS PT. Telkomsel Semarang
- Metode Sudut Lindung	Ya
- Metode jala	Tidak
- Metode Rolling Sphere	Tidak

Dari tabel 4.2 dapat dilihat bahwa menara *Base Transceiver Station* PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] juga memiliki potensi sangat besar mengalami gangguan akibat sambaran petir. Dimana nilai $F > F_a$, sehingga dibutuhkan suatu Sistem Proteksi Petir dengan efisiensi sebesar 0,94 dengan level proteksi tingkat II.

Dari tabel 4.2, dapat diketahui bahwa bangunan menara *Base Transceiver Station* PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] dengan tahanan jenis tanah $\rho = 0,000915 \Omega\text{-km}$, memiliki Sistem Proteksi Petir dengan level proteksi tingkat II. Jika disesuaikan dengan (tabel 2.2) akan didapatkan nilai jarak sambar atau jari- jari ruang proteksi untuk level proteksi tingkat II adalah sebesar 30 meter. Sehingga dengan menggunakan metode Whitehead sesuai persamaan (2.19) dapat diperoleh besar arus sambaran yang dapat ditangkap oleh SPP adalah sebesar 7,56 kA. Dengan adanya penangkap petir bangunan menara mampu menahan sambaran petir sampai sebesar 7,56 kA jika sambaran petir yang terjadi lebih besar dari 7,56 kA maka akan ditangkap oleh sistem proteksi petir.

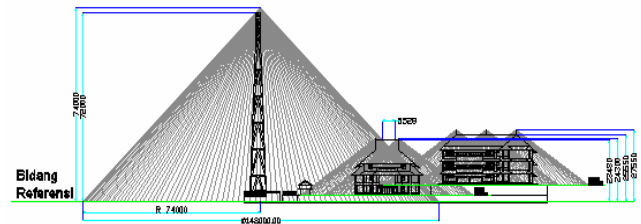
Dengan mengetahui Level atau tingkat proteksi suatu bangunan berdasarkan perhitungan kebutuhan bangunan akan sistem proteksi petir maka besarnya parameter arus petir dapat diperoleh. Nilai arus puncak I dan kecuraman rata- rata d_0/d_1 diperoleh dari tabel 2.5 untuk menara *Base Transceiver Station* PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] dengan level Proteksi Tingkat II adalah sebesar 150 kA dan $150 \text{ kA}/\mu\text{s}$. Dari tabel 3.3, dapat diperoleh tahanan pentanahan sebesar $0,027 \Omega$ dan induktansi kabel menara existing (83 m); $L = 1,662 \mu\text{H}$. Maka berdasarkan persamaan (2.20), dapat diperoleh besar tegangan lebih atau elevasi tegangan ($V_{Elevasi}$) pada kaki menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] yang terjadi akibat sambaran petir adalah sebesar: 253,35 kV.

4.3 Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Gedung Jurusan Teknik Elektro Undip Semarang dengan Adanya Bangunan Menara Base Transceiver Station PT. Telkomsel [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088].

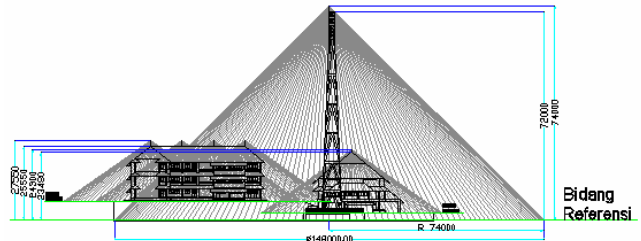
Untuk mengetahui besarnya ruang proteksi yang diberikan oleh penangkap petir yang terpasang pada gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP dan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088], maka dapat digunakan beberapa metode antara lain metode sudut lindung (*protective angle methode*),

metode jala (*mesh size methode*) dan metode bola gelinding (*rolling sphere methode*).

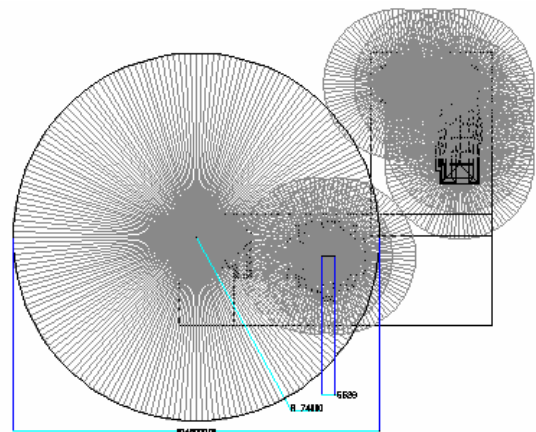
A. Analisis dengan metode Sudut Lindung



Gb. 4.1 Tampak Depan



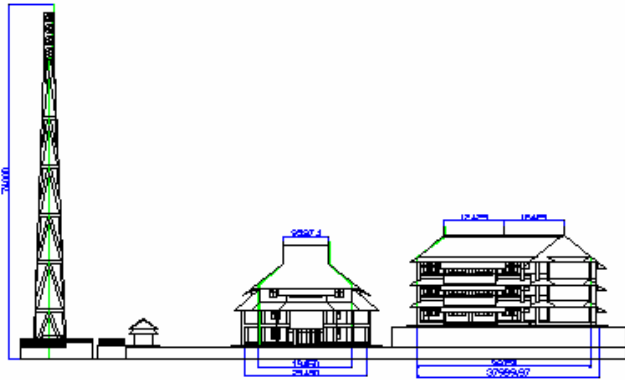
Gb.4.2 Tampak Samping Kiri



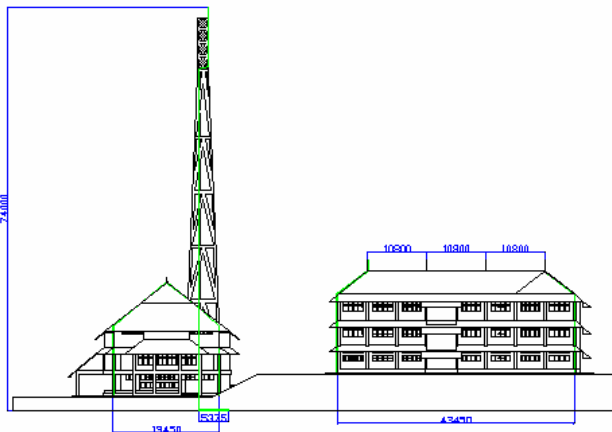
Gb.4.3 Tampak Atas

Penerapan metode sudut lindung. Berdasarkan data tabel 4.1 dapat diketahui bahwa gedung A dan gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang memiliki level proteksi IV, sehingga dari tabel 2.2 dapat diperoleh besar ruang proteksi menurut metode sudut lindung adalah sebesar 55^0 . Sedangkan dari tabel 2.3 dapat diperoleh besar ruang proteksi bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang dengan level proteksi II adalah sebesar 45^0 . Jika sudut lindung ini diterapkan pada bangunan terlihat pada gambar 4.1 bahwa gedung A, gedung B dan menara BTS belum sepenuhnya terlindung atau ada bagian bangunan berada di luar daerah proteksi sehingga masih diperlukan adanya peningkatan SPP eksternal. Adanya bangunan menara BTS dengan besar ruang proteksi sebesar 45^0 hanya melindungi bangunan gudang dan genset. Untuk mengatasi hal tersebut maka dapat dilakukan modifikasi terhadap SPP Eksternal Gedung A dan B dengan jalan meninggikan, mengatur jarak antara finial batang tegak atau menambah penangkap petir sehingga diperoleh posisi yang tepat untuk memproteksi gedung sehingga dapat dipastikan bahwa seluruh bagian gedung telah terlindung atau berada dalam ruang proteksi.

B. Analisis dengan metode Jala



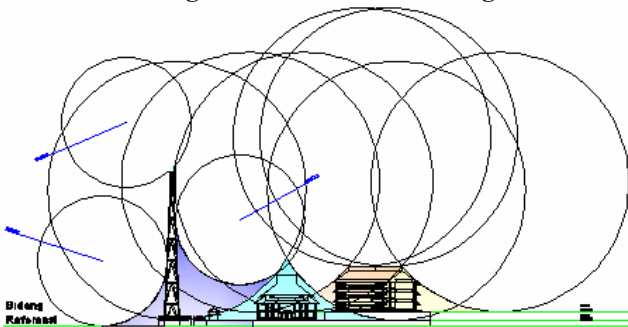
Gb. 4.4 Tampak Depan



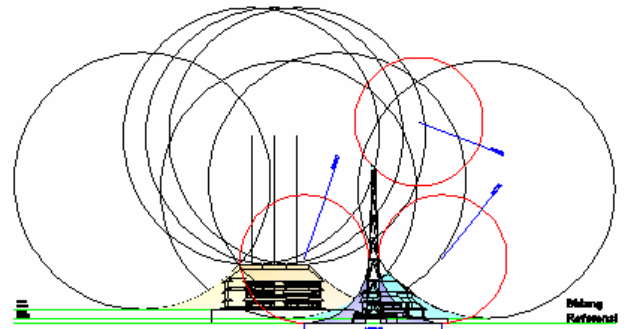
Gb. 4.5 Tampak Samping Kanan

Berdasarkan data tabel 3.1 dapat diperoleh bahwa jarak antar konduktor penyalur untuk gedung A adalah 27,50 m dan untuk gedung B sebesar 56,45 m. Nilai ini lebih besar dari jarak ketentuan berdasarkan tabel (2.2) dan (2.4) dimana untuk tingkat proteksi IV maksimum lebar jala adalah 20 m dan jarak maksimum antara konduktor adalah sebesar 25 m. Sehingga gedung masih memerlukan peningkatan proteksi. Sedang pada menara BTS dengan sistem terminasi-udara yang terdiri dari satu finial batang tegak dan pada beberapa tiang terbuat dari logam atau baja penguat interkoneksi maka dibutuhkan paling sedikit satu konduktor penyalur sehingga penerapan metode jala hanya untuk satu konduktor penyalur yang terpasang^[17] telah melindungi konstruksi bangunan menara saja. Dengan demikian adanya menara BTS belum dapat memberikan peningkatan proteksi pada gedung Jurusan Teknik Elektro.

C. Analisis dengan metode Bola Gelinding



Gb. 4.6 Tampak Depan



Gb. 4.7 Tampak Samping Kiri

Pada metode bola gelinding, ruang proteksi merupakan daerah antara perpotongan bidang referensi, bangunan dan keliling bola gelinding. Dari tabel 4.1 diperoleh besar jari-jari rolling sphere untuk gedung A dan B sebesar 60 m. Sedangkan dari tabel 4.2 besar jari-jari rolling sphere untuk menara BTS PT. Telkomsel Semarang adalah 30 m. Dengan jari-jari rolling sphere sebesar 60 m terlihat dari Gb 4.7 bahwa pada gedung A masih terdapat bagian ujung atap berada dalam bola gelinding sehingga mempunyai kemungkinan besar tersambar petir oleh karena itu perlu adanya peningkatan proteksi yang salah satunya dapat dilakukan dengan jalan meninggikan dan mengatur jarak antara finial batang tegak sehingga diperoleh posisi yang tepat untuk memproteksi gedung. Sedangkan untuk gedung B dengan jari-jari rolling sphere sebesar 60 m, terlihat pada Gb 4.6 dan Gb 4.7 bahwa bangunan telah terlindungi. Penerapan metode rolling sphere pada menara BTS dengan jari-jari 30 m hanya melindungi bangunan gudang dan genset, sehingga masih perlu adanya peningkatan proteksi pada gedung A.

Dari hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan pada gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang terhadap kebutuhan sistem proteksi petir eksternal sebelum dan setelah adanya bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088], maka dapat diperoleh hasil seperti pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Kebutuhan Sistem Proteksi Petir pada Gedung Jurusan Teknik Elektro UNDIP dengan adanya bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088].

Kebutuhan SPP Eksternal terhadap Ruang Proteksi	Sebelum ada menara BTS		Setelah ada menara BTS	
	Gedung A	Gedung B	Gedung A	Gedung B
<i>Metode Sudut Lindung</i>	Ya	Ya	Ya	Ya
<i>Metode Jala</i>	Ya	Ya	Ya	Ya
<i>Metode Rolling Sphere</i>	Ya	Tidak	Ya	Tidak

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

A. Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Gedung Teknik Elektro Undip Semarang Sebelum Adanya Bangunan Menara Base Transceiver Station PT. Telkomsel [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088]:

1. Hasil perhitungan kebutuhan sistem proteksi dengan standar IEC 1662, gedung A Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang dengan tahanan jenis tanah bagian

depan 0,140 Ω -km dan tahanan jenis tanah bagian belakang 0,189 Ω -m membutuhkan Sistem Proteksi Petir (SPP) dengan efisiensi 0,743 atau level proteksi tingkat IV, dengan kemampuan menangkap arus sambaran petir sebesar 21,82 kA.

2. Gedung A Jurusan Teknik Elektro UNDIP dengan resistansi pentanahan 2,98 Ω di tanah bagian depan mempunyai jarak aman sistem pentanahan dari gedung sebesar 0,59 meter dan pada tanah bagian belakang dengan resistansi pentanahan 4,00 Ω adalah sebesar 0,8 meter.
3. Hasil perhitungan kebutuhan sistem proteksi dengan standar IEC 1662, gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang dengan tahanan jenis tanah bagian depan 0,237 Ω -km membutuhkan Sistem Proteksi Petir (SPP) dengan efisiensi 0,750 atau level proteksi tingkat IV, dengan kemampuan menangkap arus sambaran petir sebesar 21,82 kA.
4. Gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP dengan resistansi pentanahan 5 Ω di tanah bagian depan mempunyai jarak aman sistem pentanahan dari gedung sebesar 1 meter.
5. Hasil perhitungan penentuan besar ruang proteksi gedung A dan gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang berdasarkan:
 - Metode Sudut Lindung diperoleh sudut proteksi $\alpha = 55^\circ$.
 - Metode Jala diperoleh lebar jala sebesar 20 meter dan jarak rata-rata antar konduktor penyalur sebesar 25 meter.
 - Metode Bola Gelinding diperoleh jari-jari Rolling Sphere sebesar 60 meter.
6. Dengan metode Sudut Lindung, Jala maupun Bola Gelinding dalam penentuan besar ruang proteksi, bangunan gedung A Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang masih membutuhkan peningkatan proteksi SPP eksternal.
7. Dari ketiga metode yang ada metode Bola Gelinding sangat tepat digunakan dalam penentuan besar ruang proteksi untuk bangunan gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang.

B. Kebutuhan Sistem Proteksi Petir Gedung Teknik Elektro Undip Semarang Setelah Adanya Bangunan Menara Base Transceiver Station PT. Telkomsel [Nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088] :

- a. Dengan metode Sudut Lindung, Jala maupun Bola Gelinding pada bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang dan gedung A Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang, gedung A masih membutuhkan peningkatan proteksi SPP eksternal. Dimana level proteksi masih berada pada level IV seperti sebelum ada menara BTS.
- b. Dengan metode Sudut Lindung, Jala maupun Bola Gelinding pada bangunan menara BTS PT. Telkomsel Semarang dan dengan metode Sudut Lindung, Jala pada gedung B Jurusan Teknik Elektro UNDIP Semarang, gedung B masih membutuhkan peningkatan proteksi SPP eksternal, sedangkan pada gedung B dengan metode Bola Gelinding gedung sudah terlindungi. Seperti gedung A level proteksi gedung B tidak berubah tetap pada level IV.

5.2. Saran

Berikut adalah saran-saran yang berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan baik sebelum dan sesudah adanya menara BTS PT. Telkomsel Semarang [nama Site/ Site ID: Polines/ SMG 088]

1. Disarankan supaya gedung A terlindungi, maka dapat dilakukan melalui metode Sudut Lindung dengan cara meninggikan dan mengatur jarak final batang tegak.
2. Supaya proteksi lebih maksimal, maka dapat ditambahkan konduktor penyalur dan elektroda pembumian serta cicin penyama tegangan pada gedung B. Hal ini dimaksudkan agar distribusi arus petir lebih merata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anderson, R.B. and Eriksson, A.J., *A Summary of Lightning Parameters for Engineering Applications*, Study Committee No. 33 (CIGRE), Electra No. 69, 1980.
- [2] Bustanam Beni, *Penentuan Efektivitas Perlindungan Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Bangunan dengan Metode Volume Attraktif*. Tugas Akhir, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1999.
- [3] Chandra Handi, *AutoCAD 2000 untuk Pemula*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2000.
- [4] DN, Taufik, Abdul Syakur, Yuningtyastuti, *Analisa Kebutuhan Pemakaian Sistem Proteksi Penangkal Petir pada Gedung Bertingkat*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, 2005.
- [5] Hari Aria Soma, Ir, *Buku Latihan Autocad 3 Dimensi*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 2000.
- [6] Himawan Y, Samodra, *Penentuan Efektifitas Perlindungan Petir Eksternal pada Bangunan dengan Metode Volume Attraktif*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 1993.
- [7] Horvart, T., *Computation of Lightning Protection*, Research Studies Press Ltd, England, 1991.
- [8] Hutaaruk, T.S., Ir., M.E.E, *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [9] Hutaaruk, T.S., *Pengetahuan Netral Sistem Tenaga Pengetahuan Peralatan*, Penerbit Erlangga, 1991.
- [10] IEC, *Assesment of The Risk of Damage Due to Lightning, Internasional Standard*, CEI IEC 1662 First Edition, 1995.
- [11] Kurniadi Adi, *Pemrograman Microsoft Visual Basic 6*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta, 1999.
- [12] Madcoms LPKBM, *Panduan Menggunakan 3D Studio Max 5.0*, Andi, Yogyakarta, 2003
- [13] Mafudin Yopie, Abdul Syakur, Yuningtyastuti, *Simulasi Perhitungan Kebutuhan Perlindungan Peralatan Komputer Akibat sambaran Petir (Studi Kasus Gedung Widya Puraya UNDIP Semarang)*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP, Semarang, 2006.
- [14] Pranyoto, Ir. *Ruang Proteksi Penangkal Petir*. Unit Pengujian PT. PLN (Persero) UB Jasa Teknik Kelistrikan. 2002
- [15] Recommendation ITU-T K.39, *Risk Assessment of Damages to Telecommunication Site Due to Lightning Discharge*, ITU-T Study Group 5, Geneva, 1996.
- [16] Sirait, K.T., *Diktat Teknik Tegangan Tinggi Lanjutan*, Lab. Tegangan Tinggi dan Pengukuran Listrik, ITB, 1987.
- [17] SNI 03-7015-2004, *Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung*. http://www.google.co.id/SNI_03-7015-2004.pdf. Agustus, 2006.
- [18] Tim, *Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia*, Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta, 1983.
- [19] Tim, *Visual Basic*, LPK Budiman, Semarang, 1999.
- [20] Wahana Komputer Semarang Tim, *Pemrograman Visual Basic 6.0*, Andi, Yogyakarta, 2002
- [21] Zoro Reynaldo, Dr., *Sistem Proteksi terhadap sambaran petir pada struktur tinggi dengan bangunan disekitarnya*, Lab. Teknik Tegangan Tinggi dan arus Tinggi, ITB, 2002.
- [22], *Analisa Biaya Manfaat Sistematis Atas Proteksi Sambaran Petir*, http://www.elektro_indonesia.co.id/analisenengi.html. Desember, 2006.
- [23], *MIL-HDBK-419A Grounding, Bonding and Shielding for Electronics Equipments and Facilities*, Department of Defense, Washington D.C, USA, 1987. http://www.Department_of_Defense_Washington_DC/Lightning_Induction_at_electronic_equipment.pdf. Mei 2006.



Tri Suhartanto (L2F 305 246), lahir tanggal 22 Mei 1982 di Magelang. Lulus dari DIII Politeknik Negeri Semarang tahun 2003, dan sampai sekarang sedang menyelesaikan studi S1 di Konsentrasi Ketenagaan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

Email : mastrik_s@yahoo.co.id

Menyetujui dan Mengesahkan

Pembimbing I

Ir. Yuningtyastuti
NIP. 131 285 569
Tanggal.....

Pembimbing II

Abdul Syakur, S.T, M.T
NIP. 132 231 132
Tanggal.....