



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI SISTEM PROTEKSI PETIR PADA
BASE TRANCEIVER STATION (BTS)**

SKRIPSI

**WIDHYA PUTRA P
0706200011**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EVALUASI SISTEM PROTEKSI PETIR PADA
BASE TRANCEIVER STATION (BTS)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar ST

WIDHYA PUTRA P

0706200011

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

DEPOK

DESEMBER 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : WIDHYA PUTRA P

NPM : 0706200011

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Widhya Putra P
NPM : 0706199861
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : **EVALUASI SISTEM PROTEKSI PETIR
PADA
BASE TRANCEIVER STATION (BTS)**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Budi Sudiarto ST, MT (.....)
Penguji : Ir. Amien Rahardjo, MT (.....)
Penguji : Aji Nur Widyanto ST, MT (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 4 Januari 2010

UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, saya banyak mendapatkan bantuan baik materil maupun moril dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- Budi Sudiarto ST, MT selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- Bapak Suhendra selaku pembimbing di lapangan pada *site* BTS;
- Ibu, Bapak, adik dan seluruh keluarga besar yang telah memberikan dukungan materil dan immateril;
- Ari, Fikri, Diah, Asep Dados, Huri, Fikrul, Rudi, Fiko, semua sahabat-sahabat kos permata dan semua sahabat teman ekstensi elektro 2007.
- Semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Harapan saya kiranya Skripsi ini dapat memberikan pengetahuan yang bermanfaat bagi saya khususnya dan pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah pada kita semua. Amin.

Depok, 4 Januari 2010

Penyusun

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Widhya Putra P
NPM : 0706200011
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**”EVALUASI SISTEM PROTEKSI PETIR PADA BASE TRANCEIVER
STATION (BTS)”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 4 Januari 2010
Yang menyatakan

(Widhya Putra P)

ABSTRAK

Nama : Widhya Putra P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Evaluasi Sistem Proteksi Petir Pada
Base Tranceiver Station (BTS)

Skripsi ini membahas tentang bagaimana mengevaluasi sebuah sistem proteksi petir pada perangkat telekomunikasi seperti BTS. Sistem proteksi petir sendiri terdiri dari proteksi eksternal, sistem pembumian dan proteksi internal. Metode bola bergulir digunakan sebagai cara dalam menentukan daerah proteksi petir sesuai dengan jarak sambaran terdekat. Kemudian permasalahan proteksi dianalisis secara matematis menggunakan pendekatan probabilitas yang dihubungkan dengan tingkat proteksi, tingkat bahaya dan jumlah sambaran petir per tahun. Gangguan EMC pada bangunan dianalisis berdasarkan tingkat proteksi dan tingkat bahaya juga. Sehingga akhirnya dapat ditentukan hubungan antara jumlah sambaran petir per tahun, sistem proteksi dan keandalan sistem terhadap EMC.

Kata Kunci : Sistem Proteksi Petir, BTS, Probabilitas, Bola bergulir, EMC

ABSTRACT

Name : Widhya Putra P
Study Program : Teknik Elektro
Title : Evaluation Lightning Protection System at
Base Tranceiver Station (BTS)

The focus of this study is about how to evaluate a lightning protection system in Telecommunication equipment example BTS. Lightning protection system consist of external protection, grounding system and internal protection. Rolling sphere method is used to determine lightning protection area which is based on nearest striking distance. Thus problems due to protection is analyzed mathematically using probability method which is connected with protection level, danger level, and quantity of lightning strike per years. EMC disturbance on building is analyzed based on level protection and level danger. In the end, we can determine correlation between quantity of lightning strike per years, protection system and reliability system against EMC.

Keywords: Lightning Protection System, BTS, Probability, Rolling Sphere, EMC

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Pernyataan Orisinalitas.....	ii
Pengesahan.....	iii
Ucapan Terima Kasih.....	iv
Halaman Persetujuan Publikasi.....	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
Daftar Isi.....	viii
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penulisan.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Metodologi Penulisan	3
1.5 Sistematika Penulisan	4
2. DASAR TEORI.....	5
2.1 Pengertian petir	5
2.1.1 Pembentukan awan petir	5
2.1.2 Parameter petir	8
2.2 Kerusakan Akibat Sambaran petir.....	9
2.2.1 Kerusakan Terhadap Bangunan	9
2.2.2 Kerusakan Terhadap Instalasi Listrik.....	12
2.2.3 Kerusakan Terhadap Peralatan Elektronik dan Listrik	13
2.4.3.1 Kerusakan akibat Sambaran Langsung	13
2.2.4 Kerusakan Terhadap Manusia.....	15
2.3 Teori Analisis Resiko kerusakan	16
2.3.1 Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP).....	16
2.3.2 Berdasarkan Standard IEC 1024-1-1	17
2.4 Sistem Proteksi Eksternal	19
2.4.1 Terminasi Udara (<i>Air Terminal</i>)	19
2.4.2 Konduktor Pembumian (<i>Down Conductor</i>).....	24
2.4.3 Sistem Pentanahan (<i>Grounding</i>)	28
3.4.3.1 Elektroda Batang.....	29
3.4.3.2 Elektroda Pelat	30
2.8.3.3 Elektroda Pita.....	31
3. PENGUMPULAN DATA.....	33
3.1 Kondisi <i>existing</i> Bangunan dan Menara BTS	33
3.2 Detil Kondisi Sistem Proteksi Petir Pada Sisi Menara.....	33

3.2.1	Sistem Terminal Udara	34
3.2.2	Sistem Konduktor Pembumian	36
3.3	Detil Kondisi Sistem Proteksi Petir Pada Sisi Bangunan (<i>Shelter</i>)	36
3.4	Detil Kondisi Sistem Pentanahan (<i>Grounding</i>)	37
4.	PEMBAHASAN DAN ANALISIS.....	40
4.1	Analisis Resiko Sambaran Petir	40
4.1.1	Penentuan kebutuhan bangunan atau suatu daerah akan Proteksi Petir berdasarkan Standar IEC 1024-1-1.....	42
4.2	Perhitungan Daerah Sistem Proteksi Petir Pada Menara	45
4.3	Perhitungan dan Evaluasi Material Terminal Udara terkait Fenomena Beban Korosi	48
4.3.1	Perhitungan Beban Korosi Terminal Udara.....	49
4.3.2	Evaluasi dan Analisis Terminal Udara.....	50
4.4	Perhitungan dan Evaluasi Konduktor Pembumian Terkait Fenomena Beban Korosi	51
4.4.1	Evaluasi dan Analisis Konduktor Pembumian.....	52
4.5	Sistem Pentanahan.....	54
4.5.1	Tegangan Jatuh Pada Elektroda Pentanahan.....	54
4.5.1.1	Elevasi Tegangan Pada Sistem Pentanahan	55
4.5.2	Evaluasi Sistem Pentanahan	56
4.6	Sistem Proteksi Petir Internal	57
4.6.1	Proteksi Minimalisasi Induksi.....	58
4.6.1.1	Perhitungan Induksi Konduktor Pembumian.....	58
4.6.1.2	Perhitungan Induksi pada Kabel Coax.....	59
4.6.1.3	Perhitungan Tegangan Lebih pada Kabel Coax.....	60
4.6.1.4	Perhitungan Induksi pada Rangka Shelter	62
4.6.1.5	Evaluasi Proteksi Minimalisasi Induksi	63
4.6.2	Surge Protection Devices	64
4.6.2.1	Surge Protection Devices yang Terpasang.....	65
4.6.2.2	Karakteristik Arrester OBO dan Diagram Pengawatannya	65
5.	KESIMPULAN	68
	DAFTAR REFERENSI	70
	LAMPIRAN	71

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1,1	Ilustrasi perkembangan <i>electronic device vs interference</i> 2
Gambar 1.2	Ilustrasi statistik penyebab <i>claim</i> di suatu asuransi 2
Gambar 2.1	Ilustrasi Pembentukan Awan Petir. 6
Gambar 2.2	Ilustrasi Perbedaan Muatan antara Awan dan Bumi 6
Gambar 2.3	Ilustrasi Perpindahan Muatan antara Awan dan Bumi yang disebut Kilat/Petir 7
Gambar 2.4	Sambaran petir mengenai tangki bahan bakar 10
Gambar 2.5	Sambaran Petir Terhadap Manusia 16
Gambar 2.6	Nilai Kritis Efisiensi Sistem Proteksi Petir 18
Gambar 2.7	Zona proteksi Metode Bola Bergulir (Rolling Sphere method) 20
Gambar 2.8	Ilustrasi Penggunaan Proteksi Metoda Bola Bergulir 22
Gambar 2.9	Daerah Lindung Metode Bola Bergulir dengan $r > h$ 24
Gambar 2.10	Pembumian dengan satu batang elektroda 29
Gambar 2.11	Pembumian dengan dua batang elektroda 30
Gambar 2.12	Cara pemasangan elektroda pita 31
Gambar 3.1	Sistem Proteksi Petir Eksternal 34
Gambar 3.2	Gambar Detil Terminal Udara 35
Gambar 3.3	Susunan Existing Elektroda Pentanahan Pada Menara 38
Gambar 3.4	Detil gambar control box 39
Gambar 4.1	Diagram Alir Evaluasi SPP 41
Gambar 4.2	Persebaran hari guruh di wilayah indonesia 42
Gambar 4.3	Gambar Radius Proteksi Sambaran Petir yang ditanggulangi oleh Menara BTS dengan metode bola bergulir. 47
Gambar 4.4	Pemodelan Penyaluran Arus petir pada <i>down conductor</i> 48
Gambar 4.5	Pemodelan rangkaian tertutup pada penyaluran arus petir 49
Gambar 4.6	Konsep Jarak Aman untuk SPP Terisolasi 53
Gambar 4.7	Disipasi energi pada saat terjadi sambaran petir 57
Gambar 4.8	Ilustrasi Induksi pada penghantar 63
Gambar 4.9	Arrester OBO V25-B 65
Gambar 4.10	Diagram Pengawatan Arrester OBO V25-B 66
Gambar 4.11	Skematik Arrester dan Spark Gap Terpasang Pada RBS 66
Gambar 4.12	Skematik Spark gap- Arrester Rekomendasi OBO untuk TN-C-S 67

DAFTAR TABEL

		Halaman
Tabel 2.1	Jenis-jenis parameter petir	8
Tabel 2.2	Kaitan parameter arus petir dengan tingkat proteksi	9
Tabel 2.3	Karakteristik tipikal dari komponen bahan yang digunakan dalam SPP	12
Tabel 2.4	Efisiensi Sistem Proteksi Petir	17
Tabel 2.5	Parameter Arus Puncak berdasarkan IEC 62305-1	18
Tabel 2.6	Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Tingkat Proteksi	18
Tabel 2.7	Sudut Lindung menurut IEC-62305	23
Tabel 2.8	Dimensi minimum penghantar penyalur untuk bahan SPP	25
Tabel 2.9	Bentuk penampang nominal kabel dan kabel tanah	26
Tabel 2.10	Standar Luas penampang konduktor penyalur	27
Tabel 2.11	Karakteristik Tanah	28
Tabel 2.12	Besar dan ukuran elektroda pbumian	32
Tabel 3.1	Tabel Denah BTS	33
Tabel 3.2	Tabel Tingkat Perlindungan Terminal Udara	35
Tabel 3.3	Mode Input Power BTS	37
Tabel 3.4	Data – data kabel koaksial dan lampu menara, power serta grounding	37
Tabel 4.1	Jumlah hari guruh tahun 2008	43
Tabel 4.2	Tabel Volume Pelelehan Logam pada Terminal Udara	50
Tabel 4.3	Tabel Volume Pelelehan Logam pada <i>Down Conductor</i>	52
Tabel 4.4	Tahanan Tanah	57
Tabel 4.5	Tegangan lebih pada kabel LDF5-75	62
Tabel 4.6	Tegangan lebih pada kabel RG-11	62

BAB I

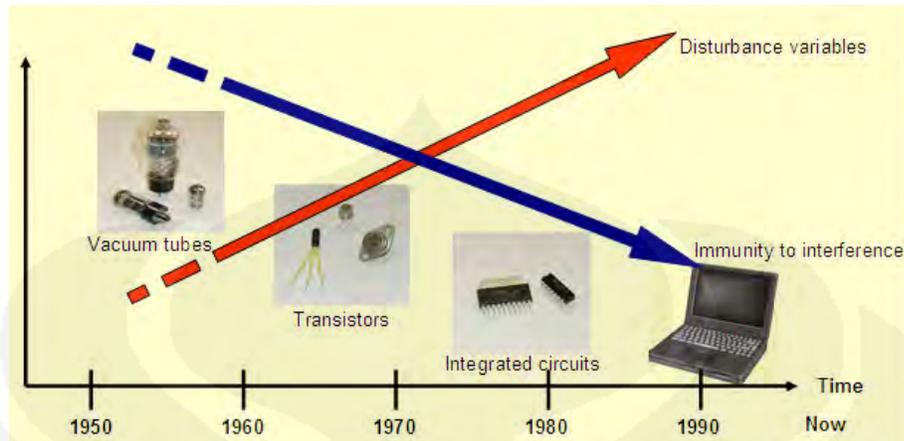
PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Keadaan alam iklim tropis Indonesia pada umumnya termasuk daerah dengan hari petir yang tinggi setiap tahun. Karena keterbatasan data besarnya hari petir untuk setiap lokasi di Indonesia, pada saat ini diasumsikan bahwa lokasi-lokasi yang tinggi di atas gunung atau menara yang menonjol ditengah-tengah area yang bebas (sawah, ladang, dll.) mempunyai kemungkinan sambaran lebih tinggi daripada tempat-tempat di tengah-tengah kota yang dikelilingi bangunan-bangunan tinggi lainnya..

Tempat-tempat dengan tingkat sambaran tinggi (frekwensi maupun intensitasnya) mendapat prioritas pertama untuk penanggulangannya, sedangkan tempat-tempat yang relatif kurang bahaya petirnya mendapat prioritas ke dua dengan pemasangan protektor yang lebih sederhana. Lokasi yang mempunyai nilai bisnis tinggi (industri kimia, pemancar TV, Telkom, gedung perkantoran dengan sistem perkantoran dan industri strategis seperti : hankam, pelabuhan udara, dll.), memerlukan proteksi yang dilakukan seoptimal mungkin.

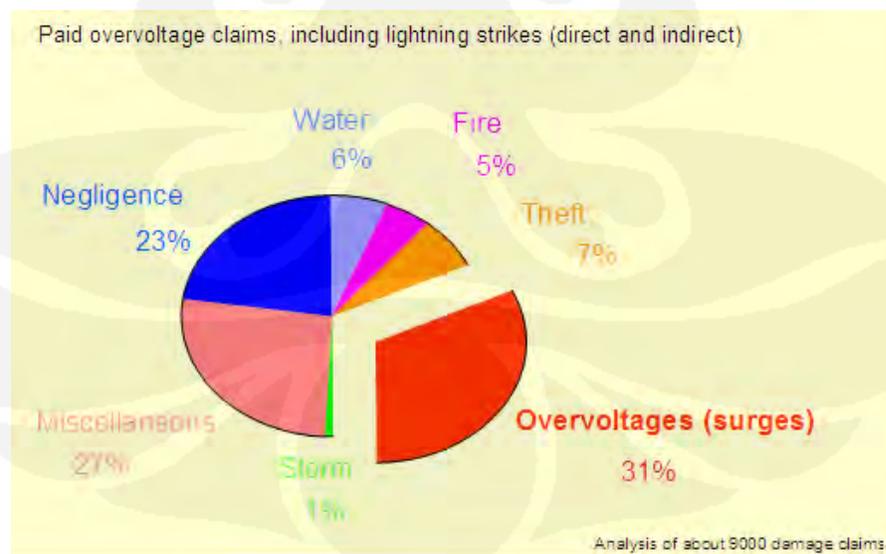
Pemakaian penangkal petir tradisional (eksternal) sudah sangat dikenal sejak dulu untuk melindungi bangunan atau instalasi terhadap sambaran petir. Bagaimanapun alat pelindung tradisional ini hanya dapat digunakan sebagai perlindungan gedung itu sendiri terhadap bahaya kebakaran atau kehancuran, sedangkan induksi tegangan lebih atau arus lebih yang diakibatkan masih belum terserap sepenuhnya oleh penangkal petir tradisional tadi. Induksi inilah yang bahayanya cukup besar terhadap peralatan elektronik yang cukup sensitif dan mahal harganya. Berikut adalah gambar ilustrasi perkembangan teknologi elektronika vs interferensi.



Gambar 1.1 Ilustrasi perkembangan *electronic device vs interference*

Seiring dengan kemajuan teknologi yang berkembang semakin besar pula tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran petir.

Sambaran petir pada tempat yang jauh sudah mampu merusak sistem elektronika dan peralatannya, seperti instalasi komputer, perangkat telekomunikasi seperti RBS, sistem kontrol, alat-alat pemancar dan instrument serta peralatan elektronik sensitif lainnya. Berikut merupakan gambar ilustrasi dari statistik pengaduan penggantian (*claim*) di suatu perusahaan asuransi.



Gambar 1.2. Ilustrasi statistik penyebab *claim* di suatu asuransi

Mengingat besarnya manfaat yang dapat diperoleh dengan diterapkannya prinsip proteksi untuk melindungi peralatan-peralatan listrik dan elektronik, terutama perangkat yang melayani kebutuhan masyarakat banyak, seperti BTS maka pada pelaksanaan kegiatan seminar ini akan dievaluasi dan dianalisis suatu koordinasi proteksi eksternal-internal yang dapat melindungi perangkat/bangunan tersebut dari sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung dari petir. Berdasarkan uraian tersebut diatas maka penulis akan membahas tentang “Evaluasi Sistem Proteksi Petir Pada Base Tranceiver Station (BTS)”.

1.2. TUJUAN PENULISAN

- Mengevaluasi sistem proteksi petir yang terpasang pada Base Tranceiver Station (BTS)

1.3. BATASAN MASALAH

Agar tidak menyimpang dari pokok bahasan yang telah ditentukan maka penulis akan membatasi masalah sebagai berikut :

- Membahas sistem proteksi petir dalam lingkup BTS di Tangerang
- Metode perlindungan yang di gunakan dalam analisis hanya metode bola bergulir.

1.4. METODOLOGI PENELITIAN

Penulisan diawali dengan pembahasan literatur tentang fenomena petir, akibat-akibat yang ditimbulkan dengan adanya sambaran petir terhadap peralatan listrik dan elektronik, membahas sistem proteksi eksternal-internal serta menganalisis penggunaan proteksi tersebut dalam melindungi akibat-akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir. Berdasarkan uraian di atas akan dilakukan studi tentang penggunaan sistem proteksi petir pada BTS dalam mengupayakan penyaluran sambaran petir dengan aman ke bumi.

1.5. SISTEMATIKA PENULISAN

Penulisan Skripsi ini terbagi ke dalam 5 Bab, diantaranya adalah Bab 1 berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab 2 berisi tentang dasar teori, dimana dasar teori ini berisi tentang Fenomena Petir, Akibat-akibat yang timbulkan oleh petir dan Sistem Proteksi Petir Terpadu. Bab 3 berisi tentang data teknis diantaranya adalah data dimensi BTS, data sistem proteksi petir eksternal BTS, data kabel transmisi dan komunikasi menara BTS. Bab 4 berisi tentang Evaluasi perlindungan Final BTS, analisis akibat sambaran petir pada BTS dan evaluasi sistem proteksi petir terpadu yang terpasang pada BTS. Bab 5 berisi tentang kesimpulan

BAB II

DASAR TEORI

II.1. PENGERTIAN PETIR

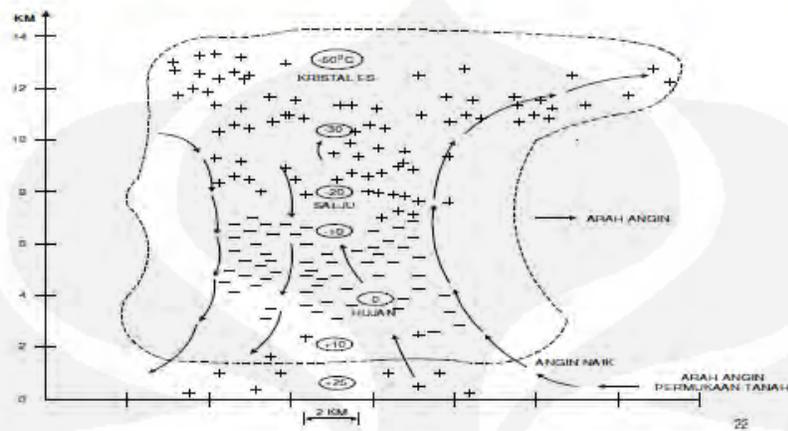
Petir adalah sebuah cahaya yang terang benderang yang dihasilkan oleh tenaga listrik alam yang terjadi di antara awan-awan atau awan ke tanah. Sering kali terjadi bila cuaca mendung atau badai. Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di atmosfer.

II.1.1 Pembentukan Awan Petir

Di lapisan atmosfer bertebaran gumpalan-gumpalan awan yang diantaranya ada awan yang bermuatan listrik. Awan bermuatan listrik tersebut dapat terbentuk jika pada suatu daerah terdapat unsur-unsur yang diperlukan, diantaranya: udara yang lembab (konsentrasi air banyak), gerakan angin ke atas dan terdapat inti higroskopis. Untuk lebih jelasnya perhatikan gambar 2.1

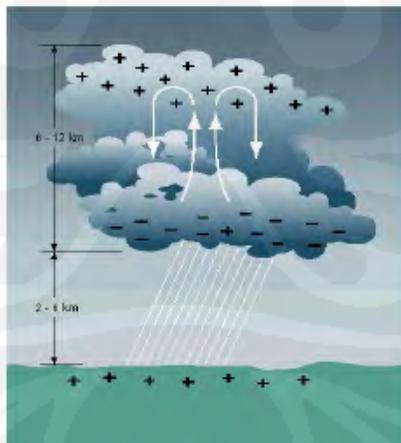
Terjadinya kelembaban karena adanya pengaruh sinar matahari yang menyebabkan terjadinya penguapan air di atas permukaan tanah (daerah laut, danau, dll). Sedangkan pergerakan udara ke atas disebabkan oleh perbedaan tekanan akibat daerah yang terkena panas matahari bertekanan lebih tinggi atau pengaruh angin. Disamping itu terdapat pula inti Higroskopis sebagai inti butir-butir air di awan akibat proses kondensasi.

Pembentukan awan petir



Gambar 2.1 Ilustrasi Pembentukan Awan Petir.

Muatan awan bawah yang negatif akan menginduksikan permukaan tanah menjadi positif maka terbentuklah medan listrik antara awan dan tanah (permukaan bumi). Semakin besar muatan yang terdapat di awan semakin besar pula medan listrik yang terjadi dan bila kuat medan tersebut telah melebihi kuat medan tembus udara ke tanah maka akan terjadi pelepasan atau peluhan muatan listrik sesuai hukum kelistrikan, peristiwa ini disebut kilat atau petir (Sambaran Petir) seperti diilustrasikan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Ilustrasi Perbedaan Muatan antara Awan dan Bumi

Petir terjadi akibat perpindahan muatan negatif (elektron) menuju ke muatan positif (proton). Para ilmuwan menduga lompatan bunga api listriknya sendiri

terjadi, ada beberapa tahapan yang biasanya dilalui. Pertama adalah pemampatan muatan listrik pada awan bersangkutan. Umumnya, akan menumpuk di bagian paling atas awan adalah listrik muatan negatif; di bagian tengah adalah listrik bermuatan positif; sementara di bagian dasar adalah muatan negatif yang berbaaur dengan muatan positif. Pada bagian bawah inilah petir biasa berlontaran. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada ilustrasi gambar 2.3



Gambar 2.3. Ilustrasi Perpindahan Muatan antara Awan dan Bumi yang disebut Kilat/Petir

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi. 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 untuk mencapai kesetimbangan. 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 musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir.

II.1.2. Parameter Petir

Setiap sambaran petir dapat diuraikan secara matematis kelistrikan. Hal tersebut diperlukan guna mengetahui sejauh mana akibat pada obyek sambaran yang ditimbulkan masing-masing parameter tersebut dan untuk menentukan mutu pengaman yang harus didesain. Berikut ini akan dijelaskan tentang jenis-jenis parameter petir.

Tabel 2.1. Jenis-jenis parameter petir

NO	Harga Karakteristik	Akibat
1	Puncak arus petir I_{Max}	Tegangan lebih yang terjadi pada tempat sambaran petir : $V = I_{Max} \cdot R_g$ Dimana : R_g = tahanan pentanahan
2	Muatan listrik $Q = \int I . dt$	Pindahan energi pada tempat sambaran
3	Kuadrat arus impuls $\int I^2 . dt$	Pemanasan $W = R \cdot \int I^2 . dt$ Dan gaya elektrodinamis pada penghantar
4	Kecuraman maksimum arus impuls petir. $\frac{di}{dt}$ maks.	Tegangan induksi elektromagnetis pada benda logam didekat instalasi penangkal petir.

Sumber : Daftar referensi [10]

Tabel 2.2 Kaitan parameter arus petir dengan tingkat proteksi

Parameter petir		Tingkat proteksi		
		I	II	III - IV
Nilai arus puncak	I(KA)	200	150	100
Muatan ideal	QTotal(C)	300	225	150
Muatan impuls	QImpuls (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (kJ/ Ω)	10000	5600	2500
Kecuraman rata – rata	di/dt 30/90% (kA/ μ S)	200	150	100

Sumber : SNI IEC 62305-1 2009

II.2 KERUSAKAN AKIBAT SAMBARAN PETIR

Kerusakan ini terjadi karena sambaran petir mengenai suatu struktur bangunan dan merusak bangunan tersebut sekaligus peralatan elektronik yang ada didalamnya. Kerusakan yang diakibatkan dapat berupa kebakaran gedung, eretaan pada dinding bangunan, kebakaran pada peralatan elektronik, kontrol, telekomunikasi, jaringan data dan sebagainya.

II.2.1 Kerusakan Terhadap Bangunan

Penyebab dari kerusakan bangunan yang diakibatkan oleh sambaran petir terutama adalah karena besar dari arus petir dan kecuraman arus petir, yang mana besarnya dapat mencapai 200 kA. Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan thermis, seperti terbakar pada bagian yang tersambar, bisa juga berupa mekanis, seperti atap runtuh, bangunan retak dan lain-lain. Bahan bangunan yang paling parah bila terkena sambaran petir adalah yang bersifat kering.



Gambar 2.4 Sambaran petir mengenai tangki bahan bakar

Kerusakan tersebut pada bangunan tersebut akibat dari petir yang memiliki efek terhadap objek yang disambar sebagai berikut :

a. beban thermal

beban thermal yang dimaksud adalah terjadinya panas pada bagian-bagian yang dialiri arus petir. Pemanasan yang timbul tersebut tergantung dengan besarnya kuadrat arus impuls. [17-“PUIPP untuk bangunan indonesia” Direktorat penyelidikan masalah bangunan departemen pekerjaan umum. 1983]

$$W = R \int I^2 dt \dots\dots\dots [2.1]$$

Dengan :

W = energi petir [J]

R = tahanan sistem yang dilewati arus petir [Ω]

Pemanasan lebih ini terjadi pada penghantar-penghantar sistem proteksi petir yang diindikasikan dengan terjadinya kenaikan temperatur yang dinyatakan dengan : [1]

$$\Delta\theta = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\int i^2 dt \cdot \alpha \rho}{q^2 \cdot \gamma \cdot Cw} - 1 \right] \dots\dots\dots [2.2]$$

Dengan :

$\Delta\theta$ = kenaikan temperatur [K]

α = koefisien temperatur pada tahanan [1/K]

ρ = tahanan ohmic spesifik pada temperatur sekitar [Ωm]

q = luas penampang penghantar penyalur [m^2]

γ = rapat massa [kg/m^3]

C_w = kapasitas panas spesifik [$J/kg.K$]

$$\int i^2 dt = W/R \text{ [J/}\Omega\text{]}$$

b. Beban korosi

Beban korosi yang dimaksud adalah proses elektrokimia karena proses pengosongan muatan awan. Proses elektrokimia yang timbul adalah berupa pelelehan logam di objek sambaran. Proses pengosongan muatan di awan tentu akan terjadi aliran muatan listrik di bagian yang tersambar dimana energi yang disalurkan cukup besar mempengaruhi proses pelelehan logam tersebut. Tingkat pelelehan yang terjadi dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{W}{\gamma(C_w \partial + C_s)} \dots\dots\dots [2.3]$$

Dengan :

v = volume pelelehan logam [m^3]

W = energi petir [J]

γ = rapat massa [kg/m^3]

C_w = kapasitas panas spesifik [$J/kg.K$]

∂ = temperatur leleh [$^{\circ}C$]

C_s = Panas leleh spesifik [J/Kg]

$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V$ = energi petir [J]

Q = muatan listrik petir [As atau C]

V = tegangan [V]

Tabel 2.3 Karakteristik tipikal dari komponen bahan yang digunakan dalam SPP

Kuantitas	Bahan			
	Aluminium	Baja Lunak	Tembaga	Baja Anti Karat
ρ_0 (Ωm)	29.10^{-9}	120.10^{-9}	$17,8.10^{-9}$	$0,7.10^{-9}$
α (1/K)	$4,0.10^{-3}$	$6,5.10^{-3}$	$3,92.10^{-3}$	$0,8.10^{-3}$
γ (kg/m^3)	2700	7700	8920	8000
θ_s ($^{\circ}\text{C}$)	658	1530	1080	1500
C_s (J/Kg)	397.10^3	272.10^3	209.10^3	–
C_w (J/Kg)	908	469	385	500
*Austenitic non magnetic				

Sumber : SNI IEC 62305-1 2009

II.2.2 Kerusakan Terhadap Jaringan dan Instalasi Listrik

Gangguan jenis ini dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu : sambaran petir mengenai kawat tanah dan sambaran petir mengenai kawat fasa.

Sambaran petir langsung mengenai kawat tanah dapat mengakibatkan hal-hal sebagai berikut :

a. Terputusnya kawat tanah

Arus yang besar menyebabkan panas yang tinggi pada kawat tanah yang dapat melampaui kekuatan kawat untuk menahannya.

b. Naiknya potensial kawat tanah yang diikuti oleh *back flash over* ke kawat fasa

Pada saat terjadi sambaran pada kawat tanah dengan cepat potensial naik mencapai nilai yang cukup tinggi sehingga dapat mengakibatkan lompatan muatan listrik ke kawat fasa di dekatnya.

c. Naiknya potensial pentanahan menara transmisi yang menyebabkan bahaya tegangan langkah

Pada saat petir menyambar permukaan tanah, sejumlah arus petir dilepaskan ke bumi. Jika seseorang berdiri di dekat titik dimana terjadi sambaran, timbul beda potensial antara kaki-nya. Beda potensial ini akan mengakibatkan arus mengalir melewati kaki dan melewati badan.

Meskipun kecil, tetapi arus ini jika mengenai organ vital seperti otak, jantung dan paru-paru akan mengakibatkan kematian.

Jika dikenal ada tegangan langkah, ada juga tegangan yang disebut tegangan sentuh yang terjadi ketika seseorang menyentuh benda yang dialiri arus. Pada peralatan yang tidak ditanahkan arus tersebut akan mengalir lewat tubuh orang itu. Sambaran langsung mengenai kawat fasa mengakibatkan kenaikan tegangan tinggi pada kawat fasa. Kenaikan tegangan yang cukup tinggi ini dapat menyebabkan pecahnya isolator, kerusakan trafo tenaga dan pecahnya *arrester*.

II.2.3 Kerusakan Terhadap Peralatan Elektronika dan Listrik

Sambaran petir pada suatu struktur bangunan maupun saluran transmisi dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan elektronik, peralatan kontrol, komputer, telekomunikasi dan peralatan lainnya dalam suatu bangunan.

Gangguan dan kerusakan pada peralatan elektronik, kontrol dan telekomunikasi berdasarkan jenis sambarannya dibedakan menjadi kerusakan akibat sambaran langsung dan kerusakan akibat sambaran tidak langsung.

II.2.3.1 Kerusakan Akibat Sambaran Langsung

Kerusakan ini terjadi karena sambaran petir mengenai suatu struktur bangunan dan merusak bangunan tersebut sekaligus peralatan elektronik yang ada didalamnya. Kerusakan yang diakibatkan dapat berupa kebakaran gedung, keretaan dalam dinding bangunan, kebakaran pada peralatan elektronik, kontrol, telekomunikasi, jaringan data dan sebagainya.

II.2.3.2 Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung

Kerusakan jenis ini terjadi karena petir menyambar suatu titik lokasi misalnya pada suatu menara transmisi atau menara telekomunikasi kemudian terjadi hantaran secara induksi melalui kabel aliran listrik, kabel telekomunikasi atau peralatan lain yang bersifat konduktif sampai jarak tertentu yang tanpa disadari telah merusak peralatan elektronik yang jaraknya jauh dari lokasi sambaran semula.

Sambaran tidak langsung ini menimbulkan efek yang cukup merusak karena gelombang surja petir yang terjadi dapat menginduksi atau merambat ke sistem tenaga listrik akibat adanya perangkai (*coupling*) yang dapat dibedakan menjadi *Coupling resistive*, *Coupling Inductive*, dan *Coupling Capacitive*.

a. Coupling resistive

Coupling resistive ini timbul ketika suatu saat terjadi sambaran langsung ke tanah di dekat suatu bangunan secara langsung juga akan mengakibatkan kenaikan tegangan yang sangat besar disekitar permukaan yang disambarnya. Akibatnya akan berpengaruh pada sistem pentanahan tenaga listrik (misalnya pipa yang di tanahkan) dimana pada sistem pentanahan yang berbeda akan memiliki nilai potensial yang berbeda pula sehingga akan dimungkinkan mengalirnya arus balik melalui sistem tenaga listrik yang ada pada bangunan tersebut yang tentu saja menimbulkan kerusakan sepanjang jalur yang dilaluinya.

Jalur arus balik tersebut juga dapat melalui saluran komunikasi atau data antara gedung yang terkena efek dari sambaran langsung dengan gedung lainnya. Dalam hal ini besarnya tegangan surja yang terjadi karena sambaran petir secara langsung ke tanah didekat bangunan nilainya dipengaruhi oleh besarnya arus kanal petir yang disalurkan pada permukaan tanah tersebut, resistansi tanah dan jarak titik sambaran dengan terminal pentanahan bangunan.

b. Coupling Induktif

Coupling induktif ini akan timbul apabila terjadi sambaran langsung pada sistem perlindungan terhadap petir yang ada di luar bangunan (*external Lightning Protection system*). Adanya aliran arus dari terminal udara ataupun finial melalui penghantar penyalur menuju elektroda pentanahan akan mengakibatkan timbulnya pulsa elektromagnetik yang sangat besar, dan karena didalam gedung tersebut terdapat kabel yang juga memiliki nilai induktansi maka akan timbul tegangan induksi pada kabel yang nilainya dapat diperoleh berdasarkan rumusan :

$$V_{\text{ind}} (v) = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots [2.4]$$

Dengan :

V_{ind} = Tegangan Induksi (Volt)

L = Induktansi dari Penghantar

di/dt = Perubahan Arus terhadap waktu

Nilai dari Induktansi penghantar dinyatakan dengan :

$$L (H) = 2l \times \log \left(\frac{2l}{a} \right) \cdot 10^{-7} \dots\dots\dots[2.5]$$

Dengan :

l = panjang penghantar;

a = jari-jari penghantar

Nilai dari tegangan induksi ini tentunya juga tidaklah kecil dan dapat menimbulkan kerusakan yang cukup berarti pada peralatan, terutama peralatan elektronika yang menggunakan perangkat semikonduktor.

c. Coupling Capacitive

Coupling kapasitif ini timbul akibat sambaran petir pada saluran udara tegangan tinggi secara langsung, meskipun sebagian dari efek sambaran ini telah dikurangi oleh peralatan pelindung pada saluran udara tersebut tetap ada sebagian yang mengalir menuju saluran tegangan menengah dan tegangan rendah yang berdasarkan sifat alaminya dimana pada muka gelombang petir akan memiliki frekuensi yang tinggi maka akan terjadi opling kapasitif pada transformator yang mengakibatkan kerusakan pada peralatan yang terhubung kepadanya karena peningkatan tegangan yang tinggi.

II.2.4. Kerusakan Terhadap Manusia

Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia, maka organ-organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan (*shock*). Arus tersebut dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu, efek rangsangan dan panas akibat arus petir pada organ-organ tubuh dapat juga melumpuhkan jaringan-jaringan / otot-otot bahkan bila energinya besar dapat menghanguskan tubuh manusia.

Perlu diketahui, yang menyebabkan kematian bukan saja karena sambaran langsung tapi juga sambaran tidak langsung, karena di sekitar titik / tempat yang terkena sambaran akan terdapat muatan listrik dengan kerapatan muatan yang besar dimana muatan itu akan menyebar di dalam tanah dengan arah radial. Penyebaran muatan ini akan menyebabkan adanya tegangan langkah pada manusia yang ada di sekitar titik sambaran, serta dapat membahayakan. Tegangan langkah merupakan tegangan yang timbul antara dua bagian tubuh manusia yang berada pada suatu gradien tegangan, sehingga antara kedua bagian tubuh tersebut timbul beda tegangan dan menyebabkan arus listrik mengalir di dalam tubuh.



Gambar 2.5 Efek Sambaran Petir Terhadap Manusia

- d. Tegangan sentuh
- e. Sambaran tidak langsung
- f. Sambarang langsung
- g. Side Flash
- h. Tegangan langkah

II.3 TEORI ANALISIS RESIKO KERUSAKAN

Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir dapat menggunakan standar-standar yang berlaku yang diantaranya adalah : Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), *National Fire Protection Association (NFPA) 780* dan *International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1*.

II.3.1 Berdasarkan Standard IEC 1024-1-1

Pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekwensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekwensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ke tanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada dinyatakan sebagai :

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} / \text{km}^2 / \text{tahun} \dots \dots \dots [2.8]$$

dimana T_d adalah jumlah hari guruh rata-rata per tahun di daerah tempat struktur yang akan diproteksi.

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun} \dots \dots \dots [2.9]$$

dimana A_e adalah area cakupan dari struktur (m^2) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekwensi sambaran langsung tahunan. Daerah yang diproteksi adalah daerah di sekitar struktur sejauh $3h$ dimana h adalah tinggi struktur yang diproteksi. Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut :

- a. Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi petir.
- b. Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi :

$$E \geq 1 - \frac{N_d}{N_c} \dots \dots \dots [2.10]$$

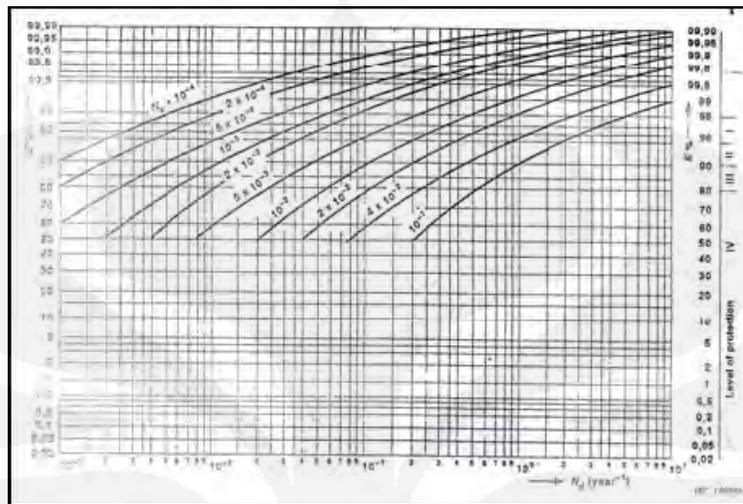
dengan tingkat proteksi sesuai tabel 2.17 berikut ini :

Tabel 2.4 Efisiensi Sistem Proteksi Petir

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

Sumber : SNI 03-7015-2004 tentang sistem proteksi petir terhadap bangunan gedung

Grafik nilai kritis efisiensi sistem proteksi petir yaitu perbandingan N_c dengan N_d ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Nilai Kritis Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tabel 2.5 Parameter Arus Puncak berdasarkan IEC 62305-1

Lightning Protection Level (LPL)	Parameter Probabilitas Arus Puncak Sambaran Petir	Arus puncak (kA)
IV	0,84	16
III	0,91	10
II	0,97	5
I	0,99	3

Sumber : SNI 03-7015-2004

Tabel 2.6 Penempatan Terminasi Udara Berdasarkan Tingkat Proteksi

Tingkat Proteksi	H (m)	20	30	45	60	Lebar Jala (m)
	R (m)	A°	A°	a°	a°	
I	20	25	-	-	-	5
II	30	35	25	-	-	10
III	45	45	35	25	-	15
IV	60	55	45	35	25	20

Sumber : Standar Engineering Pertamina.1999. hal 42

II.4 SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL

Sistem Penyalur Petir Eksternal menghindari bahaya langsung suatu sambaran petir pada instalasi-instalasi, peralatan-peralatan yang terpasang di luar gedung/bangunan, di menara dan bagian-bagian luar bangunan. Dalam hal ini termasuk juga perlindungan terhadap manusia yang berada di luar gedung. Sistem Penyalur Petir Eksternal pada dasarnya terdiri dari:

- Terminasi udara (*Air Terminal*)
- Konduktor penyalur arus petir (*Down Conductor*)
- Pembumian (*Grounding*)

II.4.1 Terminasi udara (*Air Terminal*)

Terminasi udara adalah bagian sistem proteksi petir eksternal yang dikhususkan untuk menangkap sambaran petir, berupa elektroda logam yang dipasang secara tegak maupun mendatar. Penangkap petir ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu menangkap semua petir yang menyambar tanpa mengenai bagian gedung, bangunan atau daerah yang dilindungi (zona proteksi). Istilah zona proteksi digunakan untuk menyatakan lingkup proteksi penyalur petir, yaitu seberapa banyak suatu daerah yang dapat dicakup oleh penyalur petir sehingga pada daerah tersebut memiliki kemungkinan yang kecil untuk disambar petir. Posisi penyalur petir yang vertikal membuat tampak atasnya hanya berupa suatu titik, sehingga bila *step leader* mendekati penyalur petir dari daerah manapun akan mengalami reaksi yang sama (tanpa kondisi khusus). Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku penyalur petir dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volume dengan penyalur petir sebagai sumbu. Bidang dasar zona proteksinya merupakan suatu lingkaran dengan penyalur petir sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi penyalur petir digunakan sebutan *radius proteksi* atau jari-jari proteksi; yaitu jarak terjauh dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi penyalur petir. Daerah lindung atau sudut lindung suatu Terminasi udara (*Air Terminal*) penyalur petir ditentukan oleh "jarak sambar" suatu sambaran petir yang panjangnya ditentukan oleh tingginya arus petir. Ada beberapa metode dan teori

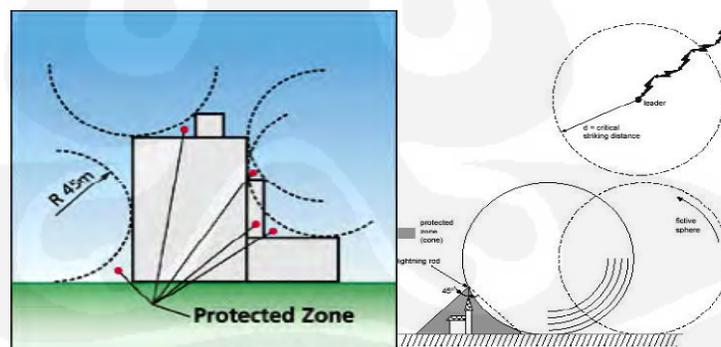
yang digunakan pada saat ini untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi. Metode - metode tersebut antara lain:

- Metode bola bergulir (*rolling sphere method*)

Metode bola bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah, sekeliling struktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan. Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir yang dinyatakan dengan persamaan :

$$R \text{ (m)} = I^{0,75} \dots\dots\dots [2.11]$$

Bila ada arus petir yang lebih kecil dari nilai I tersebut mengenai bangunan, bangunan masih bisa tahan. Tetapi bila arus petir lebih besar dari arus tersebut, akan ditangkap oleh penangkap petir.



Gambar 2.7 Zona proteksi Metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere method*).

Metode bola bergulir mempunyai beberapa parameter, yaitu Jarak Sambar, Distribusi Arus Puncak, Sudut Lindung dan Daerah Lindung.

a) Jarak Sambar

Jarak sambar atau striking distance adalah jarak antara ujung lidah petir yg bergerak kebawah (*downward leader*) bertemu dengan petir penghubung yang bergerak keatas (*connecting leader*) pada satu titik, dan titik ini disebut titik sambar. Secara empiris jarak sambar merupakan fungsi dari arus puncak petir, dan sebagian peneliti juga menurunkan bahwa jarak sambar juga adalah fungsi tinggi stuktur.

Jarak sambar dapat ditentukan dengan persamaan E.R. Love, yaitu :

$$d_s \text{ (m)} = 10 \cdot I^{0,65} \dots\dots\dots [2.12]$$

b) Distribusi Arus Puncak

Arus puncak petir yang digunakan dalam menentukan jarak sambar atau sudut lindung ditentukan dari tingkat proteksi yang diinginkan. Untuk keperluan engineering diperlukan arus puncak dengan statistik 50%. Misalkan arus puncak 40 kA dengan statistic 50% maka sistem proteksi melindungi 50% petir dengan arus > 40 kA, sedangkan 50% sisanya (<40 kA) tidak terproteksi. Statistik lain yang biasanya digunakan adalah 85%, 93%, 95% dan 99%.

c) Radius Proteksi

Penggunaan Radius Proteksi dapat digunakan untuk menentukan apakah objek yang berada disekitar penangkal petir terlindungi atau tidak. Untuk lebih jelasnya dapat melihat pada gambar berikut :

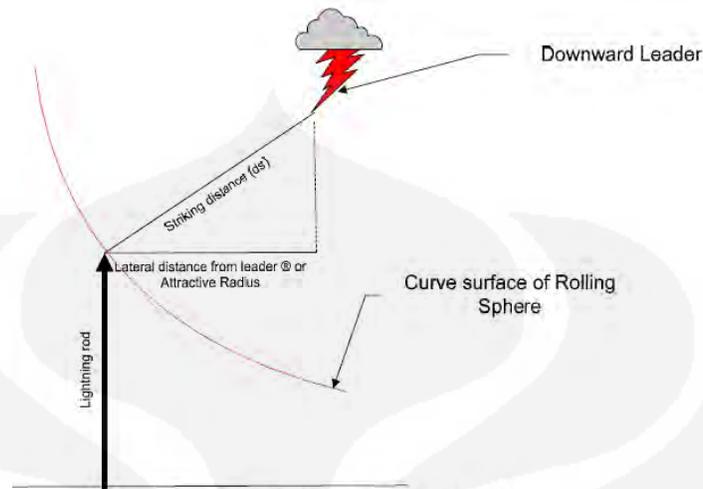


Figure 2: Attractive Radius Concept

Gambar 2.8 Ilustrasi Penggunaan Proteksi Metoda Bola Bergulir

Radius proteksi bola bergulir dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$R \text{ (m)} = \sqrt{h_1(2d_s - h_1)} \dots\dots\dots [2.13]$$

Sedangkan untuk menentukan jarak suatu objek disekitar penangkal petir dengan tinggi tertentu dapat di hitung dengan persamaan berikut :

$$R_2 \text{ (m)} = R \left[1 - \sqrt{\frac{2dh_2 - h_2^2}{2dh_1 - h_1^2}} \right] \dots\dots\dots [2.14]$$

Dimana :

R = Radius proteksi bola bergulir (m)

R₂ = Radius terjauh objek/bangunan terhadap penangkal petir (m)

d = jarak sambar petir (m)

h₁ = tinggi total penangkal petir (m)

h₂ = tinggi obek/bangunan (m)

d) Sudut Lindung

Sudut lindung sebuah air terminal dapat diukur dengan menggambarkan daerah lindung menggunakan metodabola gelinding dimana sudut lindung adalah sudut diantara garis singgung bola gelinding yang mengenai terminal udara

dengan permukaan tanah. Sudut lindung juga dapat didekati dengan persamaan Hasse dan Wiesinger berikut ini :

$$\alpha^0 = \text{Sin}^{-1}\left(1 - \frac{h}{r}\right) \dots\dots\dots [2.12]$$

Untuk $h < r$

Sedangkan sudut lindung dua buah batang tegak yang terpisah jarak S dapat dedakti dengan :

$$\alpha^0 = \text{Cos}^{-1}\left(1 - \frac{S}{2r}\right) \dots\dots\dots [2.13]$$

Untuk $S < 2r$

Dimana :

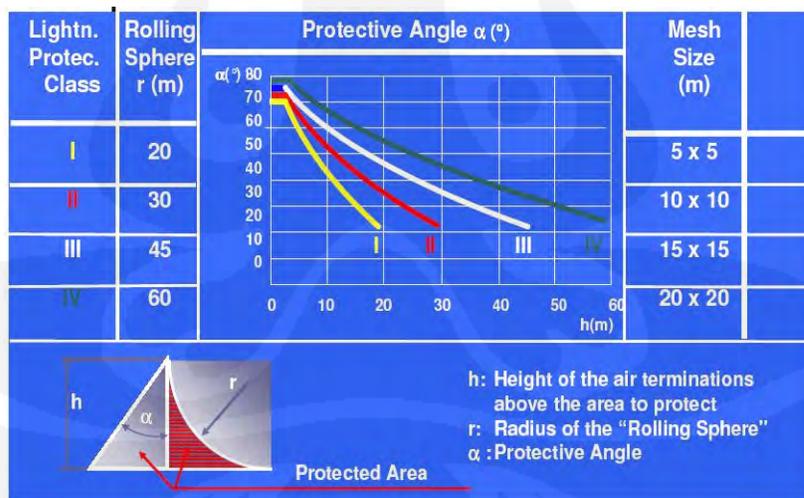
a = sudut lindung (derajat)

h = tinggi struktur (m)

r = jarak sambar (m)

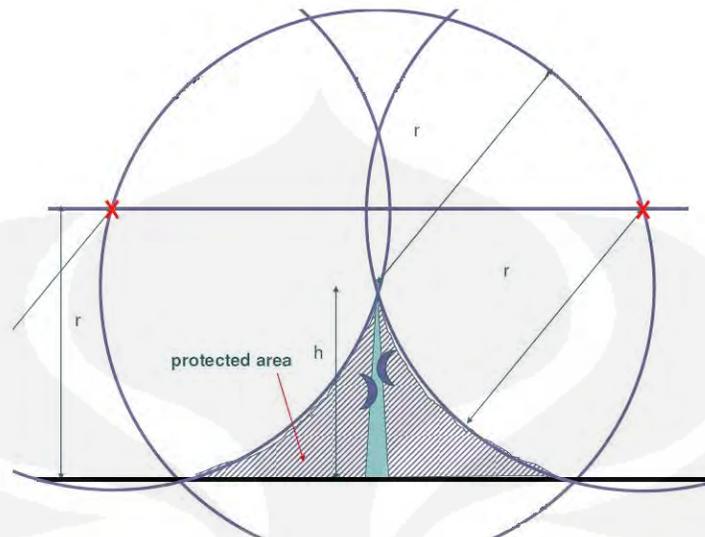
S = jarak antara dua buah batang tegak (m)

Tabel 2.7 Sudut Lindung menurut IEC-62305



e) Daerah Lindung

Daerah Lindung adalah area yang terlindungi oleh penyalur petir dari sambaran.



Gambar 2.9 Daerah Lindung Metode Bola Bergulir dengan $r > h$

II.4.2 Konduktor Pembumian (*Down Conductor*)

Konduktor Pembumian atau *Down Conductor* berfungsi sebagai penyalur arus petir yang mengenai Terminasi udara (terminal udara) dan diteruskan ke pembumian / *grounding*. Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya memperhitungkan kenyataan bahwa, jika arus petir dibagi dalam beberapa konduktor penyalur, resiko loncatan kesamping dan gangguan elektro magnetik didalam gedung berkurang.

Jenis-jenis bahan penghantar penyalur :

1. Kawat Tembaga (*BCC=Bare Cooper Cable*)
2. Aluminium (*AAC=All Aluminium Cable*)
3. Campuran Aluminium dan Baja (*ACSR=Aluminium Cable Steel Reinforced*)
4. Kawat baja yang diberi lapisan tembaga (*cooper weld*)
5. Aluminium Puntir Berisolasi (*Twisted wire*)
6. Kawat baja, dipakai pada kawat petir dan pertanahan

Jenis penghantar penyalur yang dipakai adalah *BCC(Bare Cooper Cable)* atau lebih sering dikatakan BC, yaitu tembaga telanjang yang dipasang di luar bangunan. Penghantar ini sebagai penghubung antara sistem terminasi udara

dengan konektor ke sistem pembumian. Bahan – bahan yang digunakan untuk penghantar penyalur suatu penyalur petir harus berdasarkan beberapa faktor antara lain :

1. Ketahanan terhadap panas
2. Pengaruh kimia terutama korosi
3. Konduktivitas Tinggi
4. Kekuatan Tarik Mekanikal Tinggi
5. Ringan dan Murah
6. Tidak mudah patah

Untuk komponen – komponen yang berada di atas tanah diperkenankan dipakai jenis bahan tembaga, aluminium, dan besi yang telah digalvanis. Tetapi jika dipasang dipabrik kimia, cerobong asap atau di daerah pegunungan dimana udara banyak mengandung zat belerang maka yang telah digalvanis yang dipilih, atau dengan pelapisan khusus agar tidak mudah berkarat atau korosi.

Tabel 2.8 Dimensi minimum penghantar penyalur untuk bahan SPP

Tingkat Proteksi	Bahan	Luas Penampang (mm²)
I sampai IV	Tembaga	16
	Aluminium	25
	Besi	50

Sumber : Standar Engineering Pertamina 1999. hal 62 atau
http://lightningbuster.blogspot.com/2008_10_07_archive.html

Tabel 2.9 Bentuk penampang nominal kabel dan kabel tanah

Kabel dan Kabel tanah Instalasi tetap dari aluminium atau tembaga (mm ²)				Kabel dan Kabel tanah Instalasi tetap dari aluminium atau tembaga bentuk sektor (mm ²)	Kabel flexibel, lebih flexibel, sangat flexibel dari tembaga (mm ²)
(a)	(b)	(c)	(d)		
1	2	3	4	5	6
0,5	0,5*	-	-	-	0,5
0,75	0,75*	-	-	-	0,75
1,0	1,0*	-	-	-	1,0
1,0	1,5*	-	-	-	1,0
2,5	2,5*	-	-	-	2,5
4	4	-	-	-	4
6	6	-	-	-	6
10	10	-	-	10	10
16	16	16	-	16	16
-	25	25	-	25	25
-	35	35	-	35	35
-	50	50	-	50	50
-	70	70	-	70	70
-	95	95	-	95	95
-	120	120	-	120	120
-	150	150	-	150	150
-	185	185	-	185	185
-	240	240	-	240	240
-	300	300	-	300	300
-	400	400	-	400	400**
-	500	500	-	500	500**
-	630	630	800	630	-
-	800	-	1000	-	-
-	1000	-	1200	-	-

Catatan :

*) Hanya untuk tembaga
 **) Tidak digunakan untuk kabel sangat flexibel
 (a) Berbentuk pejal bulat (c) Berbentuk dipilin bulat dipadatkan
 (b) Berbentuk dipilin bulat (d) Penghantar bulat terdiri dari sektor – sektor

Sumber : SNI 03-7015-2004

Tabel 2.10 Standar Luas Penampang Konduktor Penyalur

$I_{k\ 1P} = I_{k\ 3P} \times \{3/(2+X_0/X_1)\}$								
Standar Luas penampang konduktor penyalur (mm ²)								
$I_{k\ 3P}$ (kA)	X_0/X_1	$I_{k\ 1P}$ (kA)	$\delta_1=30^\circ\text{C}, \delta_f=300^\circ\text{C}$			$\delta_1=30^\circ\text{C}, \delta_f=150^\circ\text{C}$		
			1,0s	0,5s	0,2s	1,0s	0,5s	0,2s
80	1	80	-	4 x 95	2 x 95	-	4 x 120	4 x 70
	2	60	-	2 x 120	2 x 95	-	4 x 95	2 x 120
	3	48	-	2 x 95	120	-	4 x 70	2 x 95
63	1	63	-	2 x 120	2 x 95	-	4 x 90	2 x 120
	2	47,3	-	2 x 95	120	-	4 x 70	2 x 95
	3	37,8	-	2 x 95	96	-	2 x 120	4 x 70
50	1	50	-	2 x 95	120	-	4 x 70	2 x 95
	2	37,7	-	2 x 70	95	-	2 x 120	2 x 70
	3	30	-	2 x 120	95	-	2 x 95	120
40	1	40	2 x 20	2 x 95	95	4 x 95	2 x 120	2 x 70
	2	30	2 x 90	120	95	2 x 120	2 x 95	120
	3	24	2 x 70	95	70	2 x 95	2 x 70	95
31,5	1	31,5	2 x 95	120	95	2 x 120	2 x 95	120
	2	23,6	2 x 70	95	70	2 x 95	2 x 70	95
	3	18,9	120	70	50	2 x 70	120	70
25	1	25	2 x 70	95	70	2 x 95	2 x 70	95
	2	18,8	120	70	50	2 x 70	120	70
	3	15	95	70	35	120	95	50
20	1	20	120	95	50	2 x 95	120	70
	2	15	95	70	35	120	95	50
	3	12	70	50	35	95	70	50
16	1	16	95	70	50	120	95	70
	2	12	70	50	35	95	70	50
	3	9,6	70	50	35	70	50	35
12,5	1	12,5	70	50	35	95	70	50
	2	9,4	50	35	35	70	50	35
	3	7,5	50	35	35	70	50	35
≤ 10	1	10	70	50	35	95	70	35
	2	7,5	50	35	35	70	50	35
	3	6	35	35	35	50	35	35

Catatan :

 δ_1 = Suhu Lingkungan δ_f = Suhu Maksimum X_0/X_1 = Rasio Nilai impedansi nol terhadap impedansi positif

II.4.3 Sistem Pentanahan (Grounding)

Sistem Pentanahan adalah menanam satu / beberapa elektroda kedalam tanah dengan cara tertentu untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang diinginkan. Elektroda pembumian tersebut membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. Sebagai bahan elektroda, digunakan tembaga atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia).

Tahanan elektroda tanah adalah tahanan antara elektroda tanah dengan suatu tanah referensi. Tahanan pentanahan adalah tahanan elektroda tanah dan hantaran hubung tanah. Tahanan pentanahan total adalah tahanan pentanahan dari keseluruhan sistem pentanahan yang terukur disuatu titik.

Tanah sendiri merupakan konduktor yang jelek, sehingga masing-masing jenis tanah yang memiliki komposisi penyusun yang berbeda memiliki nilai resistivitas yang berbeda. Bila arus yang sangat besar dari sambaran petir (range arus 100 kA – 200 kA) melewati pada lapisan tanah dengan tahanan tertentu misalnya 10 ohm, maka akan timbul beda tegangan yang sangat besar sekali dipermukaan tanah bisa mencapai nilai 1 juta volt tiap meter. Tegangan yang terbentuk ini disebut surja tegangan tanah (ground potential surge):

Tabel 2.11 Karakteristik Tanah

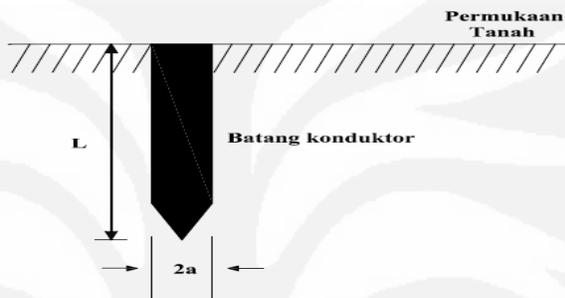
Jenis Tanah	Resistansi Jenis Tanah (rt) – (Ω -m)
Tanah rawa	10....40
Tanah liat & tanah ladang	40....100
Pasir basah	50....200
Kerikil basah	200....3000
Pasir/kerikil kering	< 10000
Tanah berbatu	2000....3000
Air laut & air tawar	10....100

Sumber : PUIL2000 atau
http://lightningbuster.blogspot.com/2008_10_07_archive.html

II.4.3.1 Elektroda Batang

◆ Pembumian satu batang elektroda

Sistem pembumian dengan elektroda batang adalah suatu sistem pembumian dengan menggunakan batang-batang elektroda yang ditanam tegak lurus dengan permukaan tanah. Banyaknya batang yang ditanam didalam tanah tergantung besar tahanan pembumian yang diinginkan. Makin kecil tahanan pembumian yang diinginkan, makin banyak batang konduktor yang harus ditanam. Batang-batang konduktor ini dihubungkan satu dengan yang lainnya.



Gambar 2.10 Pembumian dengan satu batang elektroda

Dengan menggunakan efek bayangan elektroda terhadap permukaan tanah, maka didapat suatu persamaan :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots [2.14]$$

Dimana :

R = tahanan pembumian Ω

ρ = tahanan jenis tanah Ω

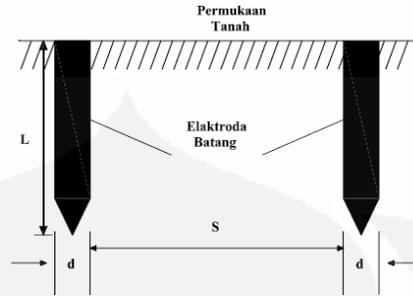
L = Panjang elektroda (cm)

a = jari-jari elektroda (cm)

Jika dilihat dari rumus diatas, maka makin panjang konduktor yang ditanam dalam tanah, makin kecil tahanan pembumiannya. Demikian juga makin besar diameter konduktor juga makin kecil tahanan pembumiannya.

◆ Pembumian dua batang elektroda

Tahanan pembumian dapat diperkecil dengan memperbanyak elektroda yang ditanam dan dihubungkan paralel.



Gambar 2.11 Pembumian dengan dua batang elektroda

Untuk 2 batang konduktor, dapat diturunkan rumusnya sebagai berikut ;

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln(2L + \sqrt{S^2 + 4L^2}) + \frac{S}{2L} - \frac{\sqrt{S^2 + 4L^2}}{2L} \right\} \dots\dots\dots [2.15]$$

Dimana :

S = jarak antara 2 konduktor

◆ Pembumian beberapa batang elektroda (Multiple Rod)

Beberapa batang elektroda (Multiple Rod) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah yaitu dengan metoda pembumian bersama yaitu :

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6}}$$

Jika di asumsikan tahanan pembumian pada daerah bangunan adalah sama, maka dapat berlaku persamaan berikut ini :

$$R_{\text{tot}} (\Omega) = \frac{1}{nx \frac{1}{R_1}} \dots\dots\dots [2.16]$$

Dimana n : jumlah elektroda batang

R_1 : tahanan pembumian sama untuk n buah (Ω)

II.4.3.2 Elektroda Pelat

Elektroda pelat dibuat dari pelat logam, pelat logam berlubang atau kawat kasa. Pelat ini ditanam tegak lurus didalam tanah, dengan tepi atasnya sekurang-kurangnya satu meter dibawah permukaan tanah. Pada umumnya elektroda jenis ini ditanam secara dalam.

Tahanan pembumian elektroda pelat dapat di hitung dengan pendekatan persamaan sebagai berikut :

$$R_p = \frac{\rho}{2\pi L_p} \left[\ln\left(\frac{8W_p}{0,5W_p + T_p}\right) - 1 \right] \dots\dots\dots [2.17]$$

Dimana :

R_p = Tahanan pentanahan pelat (Ω)

ρ = tahanan jenis tanah ($\Omega.m$)

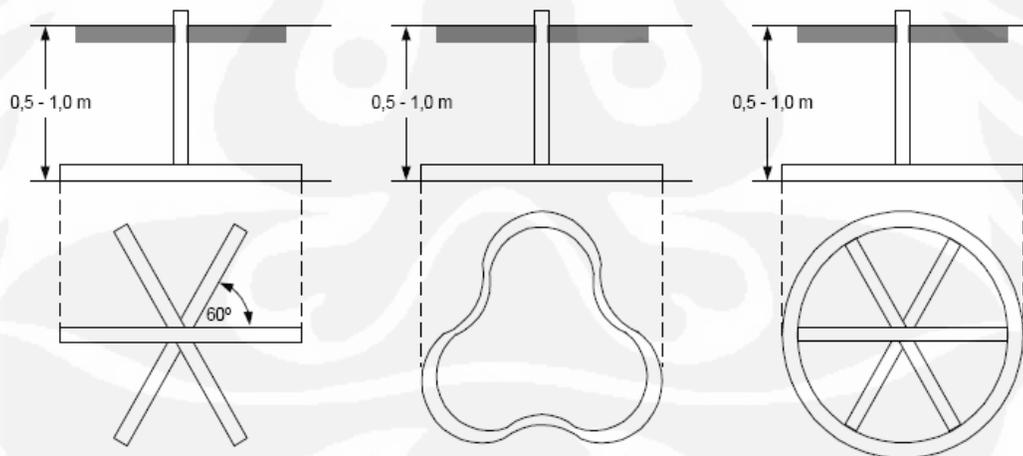
L_p = Panjang pelat (m)

W_p = Lebar pelat (m)

T_p = Tebal pelat (m)

II.4.3.3 Elektroda Pita

Elektroda Pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanamnya secara dangkal. Elektroda ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dan bentuk tersebut seperti pada gambar dibawah ini, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5–1 m.



Gambar 2.12 Cara pemasangan elektroda pita

Tabel 2.12 Besar dan ukuran elektroda pembedaan

No	Bahan jenis elektroda	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektroda pita	- Pita baja 100 mm ² setebal minimum 3 mm	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² tebal minimum 2mm
		- Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm (bukan kawat halus)
2	Elektroda batang	- Pipa baja 25mm - Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μ m	
3	Elektroda Pelat	- Pelat besi tebal 3 mm luas 0,52 sampai 1 m ²	Pelat tembaga tebal 2mm luas 0,5 m ² sampai 1m ²	Elektroda batang

Sumber : PUIL2000

BAB III

PENGUMPULAN DATA

BTS adalah kependekan dari **Base Transceiver Station**. Terminologi ini termasuk baru dan mulai populer di era booming seluler saat ini. BTS berfungsi menjembatani perangkat komunikasi pengguna dengan jaringan menuju jaringan lain. Satu cakupan pancaran BTS dapat disebut cell. Komunikasi seluler adalah komunikasi modern yang mendukung mobilitas yang tinggi. Dari beberapa BTS kemudian dikontrol oleh satu Base Station Controller (BSC) yang terhubung dengan koneksi microwave ataupun serat optik.

3.1 Kondisi *Existing* Bangunan dan Menara BTS

Site BTS/RBS yang dievaluasi terletak pada daerah cibinong. BTS/RBS ini merupakan bangunan tertinggi dari bangunan-bangunan sekitarnya yang terdapat tidak jauh dari areal perumahan. Dengan melihat data fisik bangunan pada gambar dibawah ini dapat diperkirakan bangunan ini rawan tersambar petir yang dapat mengganggu/merusak peralatan komunikasi didalam BTS tersebut.

Tabel 3.1 Tabel Denah BTS

Jenis Bangunan	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Luas (m ²)
Tower	6.5	6.5	42	42.25
Shelter	4	2.7	3	10.8
Total Site	18	15	-	270

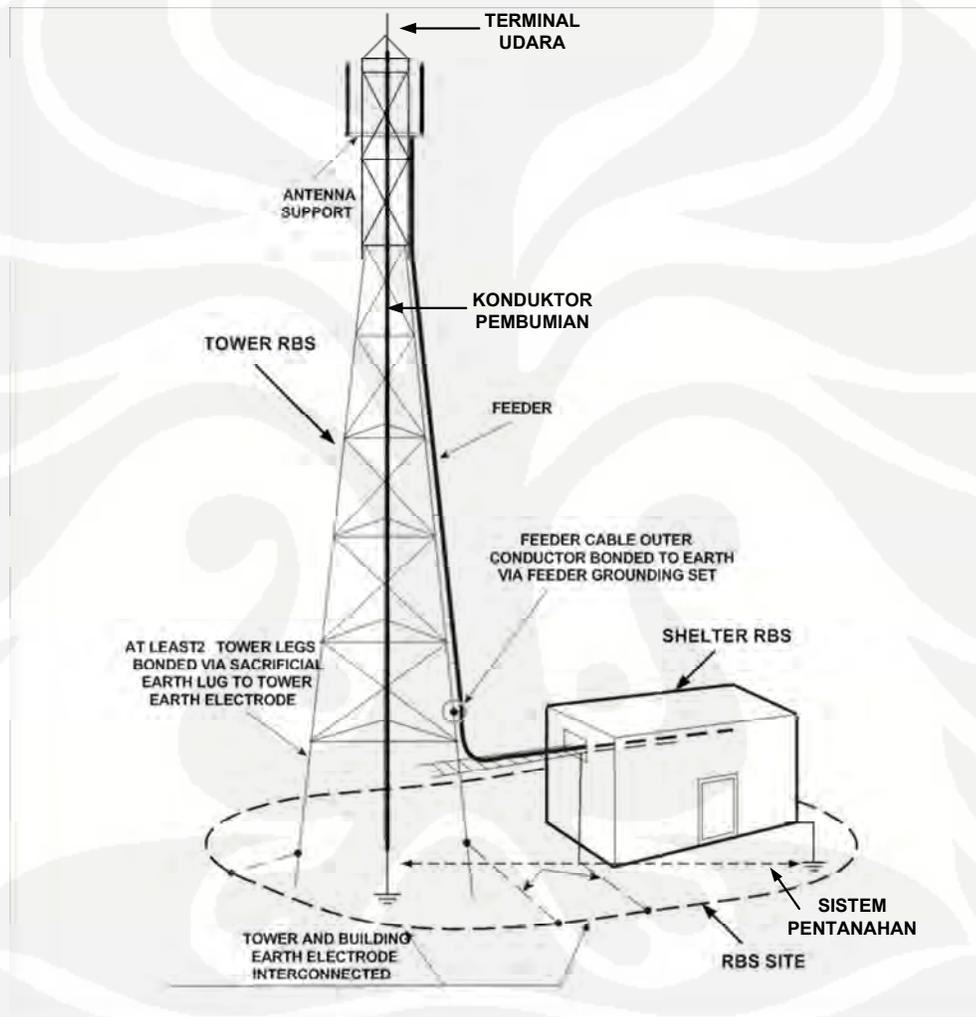
Gambar 3.1 Bentuk dan Gambaran Umum Bangunan Unit RBS

3.2 Detil Kondisi Sistem Proteksi Petir Pada Sisi Menara

Keseluruhan instalasi bangunan yang ada dan terpasang pada sisi tower di maksudkan untuk menangkap dan mengalirkan petir ke tanah. Secara umum terdiri dari air-termination system, down conductor, earth termination system.

Data existing Menara :

Tinggi total Menara (h_t)	= 42 m
Tinggi yang tidak meruncing (h_0)	= 32.5 m
Lebar kaki menara ($2x_b$)	= 6.5 m
Lebar pada bagian atas menara ($2x_u$)	= 1.4 m



Gambar 3.1 Sistem Proteksi Petir Eksternal pada BTS

3.2.1 Sistem Terminal Udara

Adalah bagian dari instalasi penangkal petir pada sisi tower yang diharapkan mampu menangkap sambaran petir.

Susunan dari air-termination system akan memadai bila persyaratan pada tabel 3.2 berikut ini terpenuhi.

Tabel 3.2 Tabel Tingkat Perlindungan Terminal Udara

Tingkat Perlindungan	h(m) R(m)	20	30	45	60
		$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$	$\alpha (^{\circ})$
I	20	25	-	-	-
II	30	35	25	-	-
III	45	45	35	25	-
IV	60	55	45	35	45

Sumber : Standar Engineering Pertamina.1999. hal 42

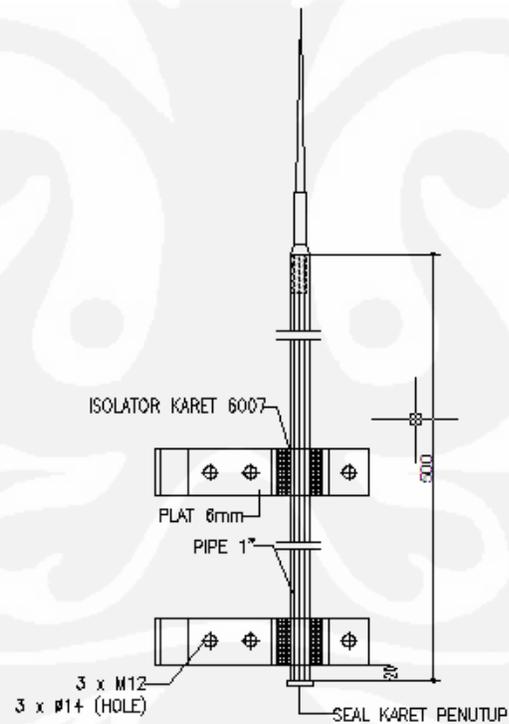
Data Existing Penangkal Petir :

Jenis logam : Tembaga

Panjang : 2 m

Shielding : Pipa logam galvanese, D = 2 inch.

Contoh gambar existing air-termination system dapat dilihat dibawah berikut :



Gambar 3.2. Gambar Detil Terminal Udara

3.2.2 Sistem Konduktor Pembumian

Down conductor merupakan bagian instalasi penangkal petir yang berfungsi untuk menyalurkan arus petir dari terminal udara ke sistem pentanahan (grounding system).

Penempatan suatu sistem proteksi petir dapat dibedakan antara sistem yang terisolasi dan sistem tidak terisolasi.

1. Sistem proteksi terisolasi

Jika terminal udara terdiri dari rod dan fan tiang yang terpisah, minimum diperlukan 1 buah conductor untuk tiap tiang. Jika tiang terbuat dari metal atau beton bertulang tidak perlu ditambahkan down conductor.

2. Sistem proteksi tidak terisolasi

Down conductor didistribusikan sepanjang keliling ruang yang diproteksi dengan jarak antaranya ada standar tertentu. Down conductor sebaiknya dihubungkan dengan interval ketinggian 20 m dari permukaan tanah.

Data existing down conductor :

- Sistem proteksi terisolasi , BC(Bare Copper) jenis logam
- panjang BC50 SQMM = 42 m.
- Luas penampang BC = 50 mm²

3.3 Detil Kondisi Pada Sisi Bangunan (*Shelter*)

Shelter merupakan bangunan kecil yang diperuntukkan sebagai tempat berlindungnya perangkat-perangkat elektronik-telekomunikasi yang rentan terhadap gangguan.

Perangkat elektronik-telekomunikasi yang berada dalam shelter adalah sebagai berikut :

- Transmission Equipment (termasuk antena)
- Perangkat BTS/RBS
- Rectifier
- Main Distribution Panel

Perangkat elektronik pendukung yang berada dalam shelter adalah :

- AC (air conditioning)
- Alarm

RBS dapat bekerja dengan 3 mode input power :

Tabel 3.3 Mode Input Power BTS

Nominal	Range	PSU	Daya (kW)
100 – 250 V AC, 50 – 60 Hz	90 – 275 V AC. 45 – 65 Hz	PSU – AC	3.9 kW / 5.8 kW
+ 24 DC	+ 20.5 – +29 VDC	PSU not needed	3.2 kW
- (48 – 60) VDC	- (40 – 72) VDC	PSU DC	3.8 kW

AC Power bekerja pada frekuensi 50 Hz \pm 10% dan 60 Hz \pm 8%.

Pengaman Surja menggunakan arrester CPS OBO MCD 50-B/3 + MCD 120 B/NPE dan dikombinasikan dengan V20 C/3 + NPE FS SU atau PHONIX type Trabset BC/3 +1 – 10 FM yang dipasang antara jalur KWH meter PLN dengan Main Distribution Panel.

Tabel 3.4 Data – data kabel koaksial dan lampu menara, power serta grounding :

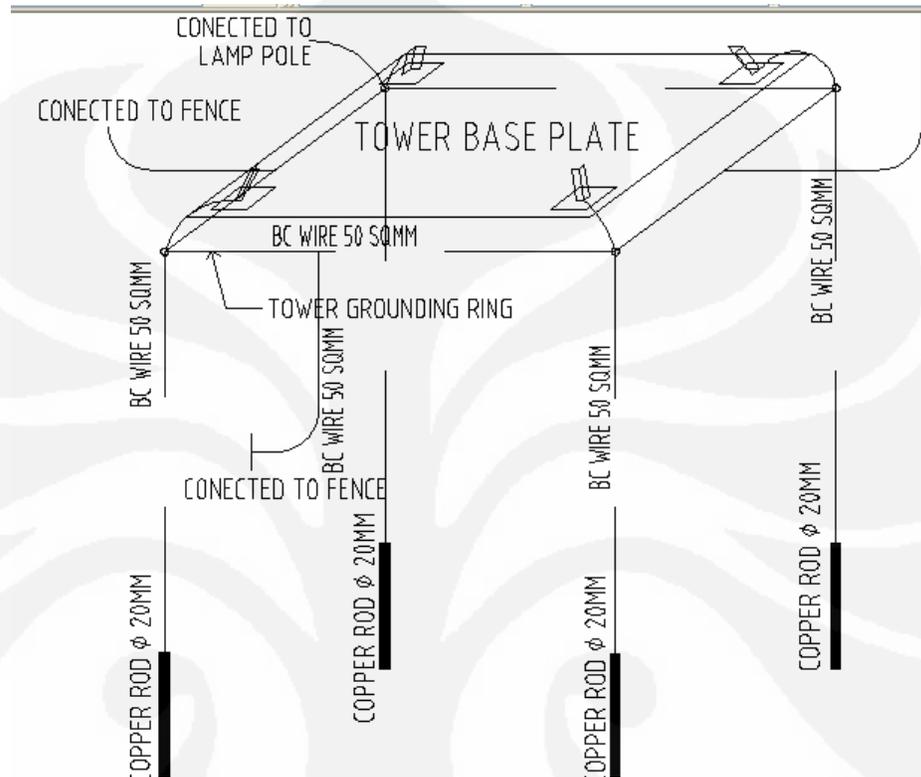
Jenis Kabel	Diameter Luar (mm)	Diameter Dalam (mm)	Jumlah	Keterangan
Andrew LDF5-75	24.892	5.588	6	Coax cable untuk antenna
Coax RG11 (14 AWG)	10.3	1.63	1	Coax cable untuk transmisi
NYFGBY (4x16)	22.6	2,257	1	Shielded cable
NY Y (3x1,5)	11,2	0,691	2	Lamp site & OBL
BC 50 SQMM	9	4	9	Ground cable

3.4 Detil Kondisi Sistem Pentanahan (Grounding)

Sistem Pentanahan (*Grounding*) berfungsi untuk menyalurkan dan menyebarkan arus petir kedalam tanah.

Dalam menyebarkan arus petir ke tanah tanpa menyebabkan tegangan lebih yang membahayakan maka bentuk dan dimensi dari sistem

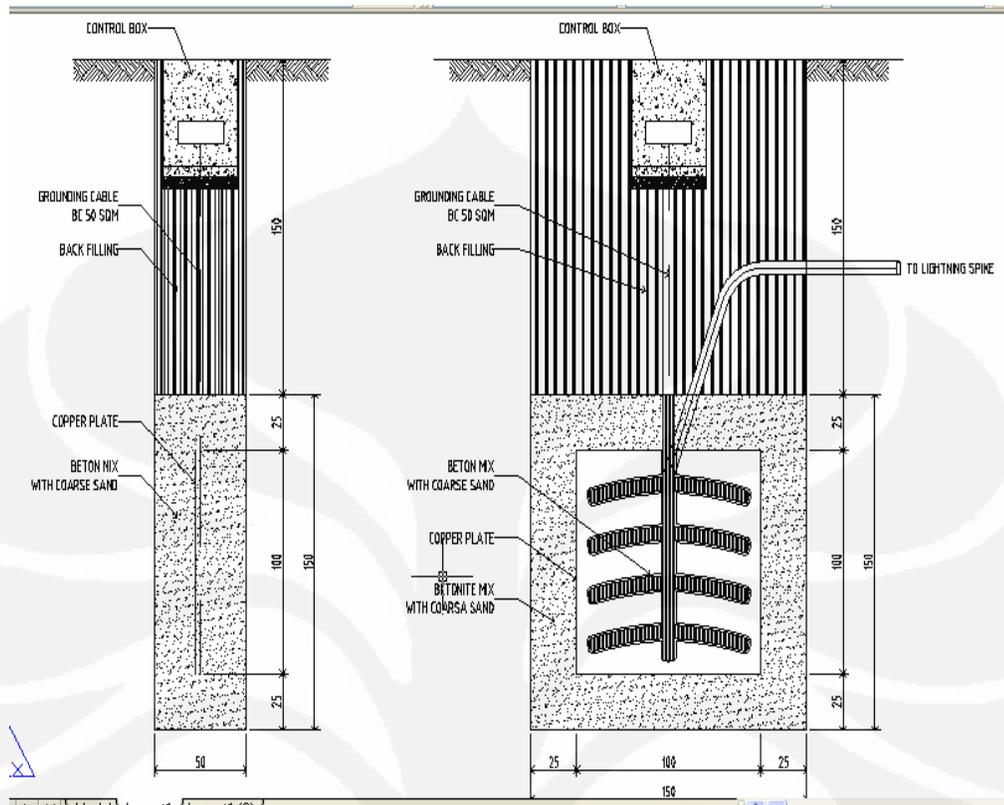
pentanahan sangat penting dibandingkan dengan harga resistansi spesifik elektroda pentanahan. Gambar *existing* sebagian sistem pentanahan yang terdapat pada area BTS sebagai berikut:



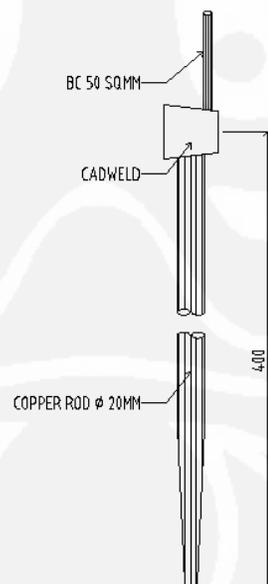
Gambar 3.3 Susunan Existing Elektroda Pentanahan Pada Menara

Data existing grounding Menara, shelter KWH meter PLN:

- Batang tembaga berukuran luas penampang : 20 mm^2
- Panjang batang tembaga : 7 m
- Plat yang dirancang khusus dengan luas : $0,075 \text{ m}^2$
- Kedalaman 8 m.
- Terhubung terintegrasi secara ring satu sama lain dengan kabel BC 50 mm.
- Jumlah : 6 batang
- Jarak antara box control tower dan shelter $\pm 5 \text{ m}$.



Gambar 3.4 Detil gambar control box



Gambar 3.5 Batang tembaga sebagai konduktor

BAB IV

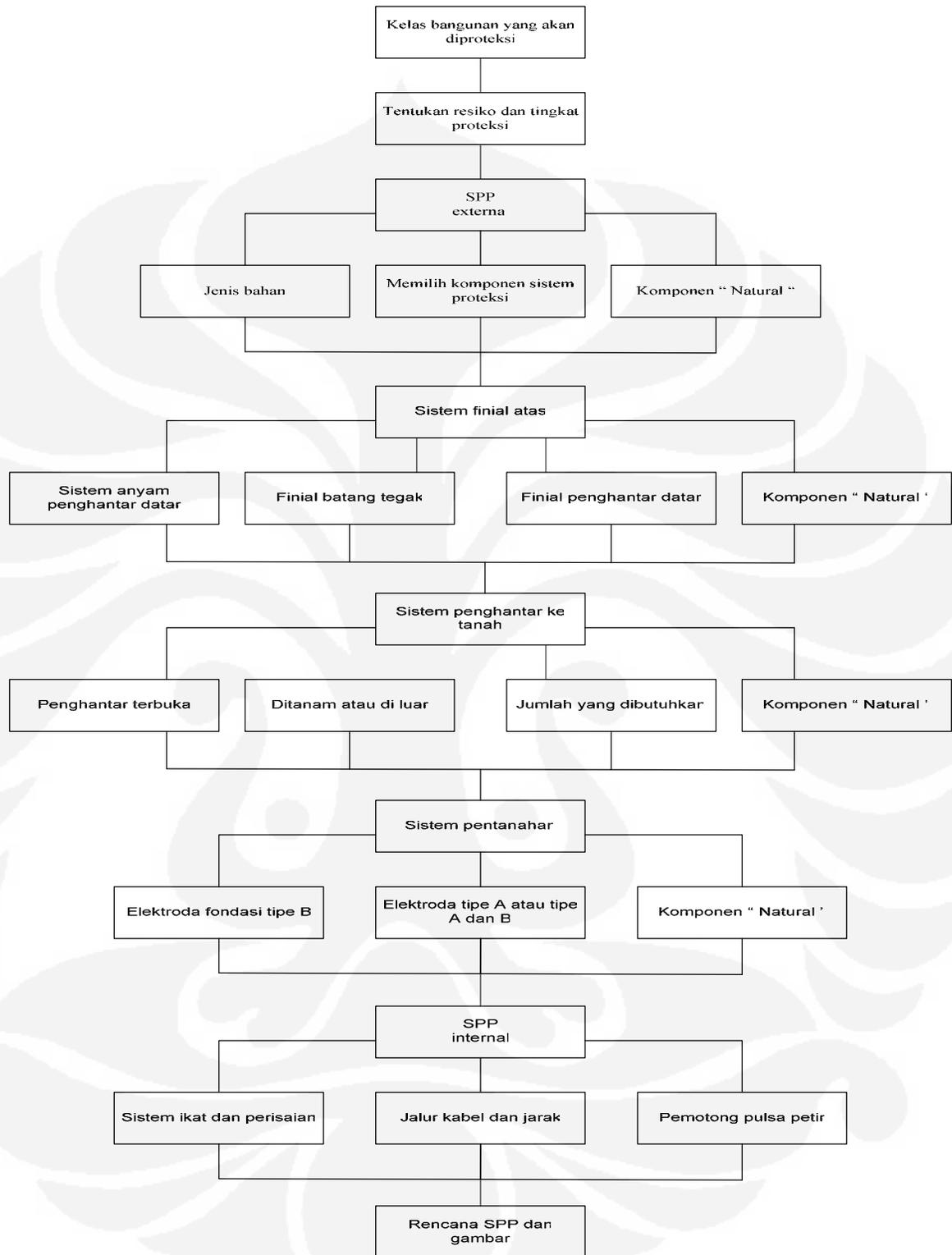
PEMBAHASAN DAN ANALISIS

4.1 Perhitungan Analisis Resiko Sambaran Petir

Dalam menganalisis penangkal petir selain perhitungan teknis dilapangan dalam perancangan dan evaluasi sistem proteksi petir juga berlaku perhitungan matematika probabilitas yang lazim di sebut “ perhitungan dan analisa diatas kertas”. Hal ini sudah distandarkan sebagai pendukung pelaksanaan teknis dilapangan baik dalam perancangan, evaluasi sistem berkala maupun saat-saat tertentu. Perhitungan parameter petir dan resiko sambaran petir dikemukakan oleh IEC 1024-1 berupa perhitungan resiko petir bagi suatu bangunan yang dapat memberikan gambaran “didas kertas” resiko-resiko yang harus diperhatikan sehingga menunjukkan bagaimana suatu sistem proteksi petir yang semestinya.

Perhitungan pada IEC 1024-1 baik yang bertujuan perancangan sistem proteksi petir maupun untuk evaluasi sistem proteksi petir yang sudah ada bermula dari perhitungan resiko-resiko dari sambaran petir dengan parameter sambaran petir tersebut diwakili oleh jumlah sambaran petir pertahun baik sambaran langsung ke bangunan (N_d) dan sambaran tidak langsung (N_n) dan sambaran melalui instalasi sistem pelayanan masuk (N_k) baik tenaga maupun telekomunikasi. Parameter sambaran petir ini menjadi faktor yang mempengaruhi frekuensi kerusakan akibat petir (F).

Secara umum kerangka berfikir untuk menganalisa proteksi pada petir adalah sebagai berikut :

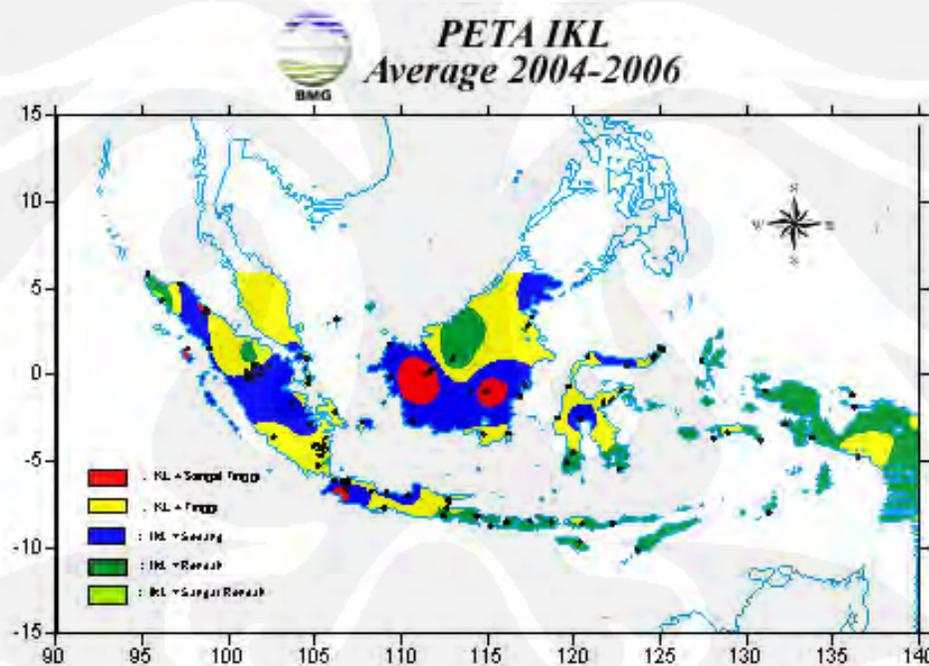


Gambar 4.1. Diagram Alir Evaluasi SPP

4.1.1 Penentuan kebutuhan bangunan atau suatu daerah akan Proteksi Petir berdasarkan Standar IEC 1024-1-1

Penggunaan standar IEC 1024-1-1 memberikan cara perhitungan dengan menggunakan data hari guruh, data ukuran bangunan/daerah, area proteksi, frekwensi sambaran langsung setempat (N_d), dan frekwensi sambaran tahunan (N_c) yang diperbolehkan pada struktur, dengan terlebih dahulu menghitung kerapatan sambaran ke tanah (N_g).

Kerapatan sambaran petir ke tanah (N_g) dipengaruhi oleh hari guruh rata – rata per tahun (T_d) di daerah tersebut. Dikarenakan berada pada daerah dataran rendah sekitar diambil hari guruh rata-rata per tahun sebesar 100 dan tingkat kerawanan petir sedang



Gambar 4.2 Persebaran hari guruh di wilayah indonesia

Berikut adalah tabel hari guruh loakl yang terekam dalam 1 tahun yang terjadi di daerah Tangerang.

Tabel 4.1 Jumlah hari guruh tahun 2008

Bulan	Jumlah Hari
Januari	18
Februari	12
Maret	20
April	21
Mei	14
Juni	12
Juli	2
Agustus	11
September	9
Oktober	20
November	18
Desember	12
Total Hari Guruh	169

Sumber : BMG Tangerang.

Maka kerapatan sambaran petir ke tanah (N_g) dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T_d^{1.26}$$

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 169^{1.26}$$

$$N_g = \underline{\underline{25,67}} \text{ sambaran per km}^2 \text{ per tahun}$$

Sedangkan luas daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan dapat dihitung sebagai berikut :

$$3h = 3 \times 42 \text{ m}$$

$$3h = \underline{\underline{126 \text{ m}}}$$

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

$$A_e = 42,25 + 6(42)(6,5 + 6,5) + 9 \cdot 3,14 \cdot 42^2$$

$$A_e = 53.168,89 \text{ m}^2$$

Sedangkan untuk memperhitungkan jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung per tahun (N_d) dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6}$$

$$N_d = 25,67 \times 53.168,89 \times 10^{-6}$$

$$N_d = \underline{1,36} \text{ sambaran petir per tahun}$$

Dimana :

a = Panjang atap gedung (m)

b = Lebar atap gedung (m)

h = Tinggi atap gedung (m)

T_d = Hari guruh rata-rata pertahun

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/ Km^2 /tahun)

A_e = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar N_d (Km^2)

N_d = Frekwensi sambaran petir langsung per tahun

N_c = ketetapan (10^{-1})

Frekwensi sambaran petir tahunan setempat (N_c diketahui bernilai 10^{-1}) yang diperbolehkan. Penentuan tingkat proteksi pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut :

a. Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi petir.

b. Jika $N_d > N_c$ diperlukan sistem proteksi petir.

Dikarenakan dalam perhitungan didapatkan $N_d \geq N_c$, maka nilai efisiensi:

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d}$$

$$E \geq 1 - \frac{10^{-1}}{1,36}$$

$$E \geq 1 - 0,073$$

$$E \geq 0,92$$

$$E \geq 92\%$$

Dimana :

E = Efisiensi sistem proteksi petir

N_d = Frekwensi sambaran petir langsung per tahun

N_c = Frekwensi sambaran petir tahunan setempat yang diperbolehkan (10^{-1})

Dimana hubungan antara nilai E (efisiensi) dengan tingkat proteksi sesuai tabel 2.4 maka dengan demikian nilai E sebesar 0,92 berada pada tingkat proteksi II dengan nilai efisiensi diantara 90%- 95%. Oleh karena itu BTS memerlukan SPP minimal tingkat proteksi dengan *level II*.

4.2 Perhitungan Daerah Proteksi Sistem Proteksi Petir Pada Menara

Setelah menentukan tingkat proteksi petir, kemudian kita akan menghitung dan menganalisa luas daerah proteksi atau zona proteksi untuk penyalur petir yang telah terpasang sebelumnya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah daerah tersebut telah terproteksi dengan baik atau tidak. Metode yang digunakan untuk menganalisis daerah proteksi di daerah tersebut adalah dengan menggunakan metode bola bergulir.

Kemudian, perhitungan luas hasil ketiga metode tersebut akan dibandingkan dengan luas sebenarnya. Dari situ akan terlihat daerah mana saja yang terproteksi dan yang tidak.

Untuk metode ini, radius proteksi dari bola bergulir sudah kita dapatkan dari tabel 19, yaitu untuk tingkat proteksi level II radius proteksinya adalah sebesar 30 m. dan untuk arus puncaknya (I) dapat kita cari dengan persamaan :

$$R \text{ (m)} = I^{0,75}$$

Maka,

$$R \text{ (m)} = I^{0,75}$$

$$I = \sqrt[0,75]{R}$$

$$I = \sqrt[0,75]{30}$$

$$I = 93,22 \text{ kA}$$

Ini berarti petir tersebut dapat menangkap petir dengan arus puncak minimal 93,22 kA. Bila Petir dengan arus dibawah nilai 93,22 kA tersebut maka

menara masih dapat bertahan namun jika nilai arus petir diatas 93,22 kA akan ditangkap oleh penyalur petir^[11].

Jarak sambar (d_s) petir terhadap bangunan dapat dihitung dari persamaan E.R Love yang banyak digunakan oleh para insinyur transmisi dan distribusi tenaga listrik, yaitu sebagai berikut:

$$d_s \text{ (m)} = 10 \cdot I^{0,65}$$

Dengan menggunakan Asumsi hasil perhitungan parameter arus petir untuk lokasi tangerang dimana harga arus puncak petir (I) minimal sebesar 93,22 kA untuk proteksi level II, maka :

Diperoleh jarak sambar (r_s) :

$$d_s = 10 (93,22)^{0,65}$$

$$d_s = 190,625 \text{ m.}$$

Pada Menara Telekomunikasi Tangerang (BTS X) secara teoritis bangunan shelter masih aman dari bahaya sambaran langsung petir. Dengan jarak bangunan (shelter) yang berjarak 6 meter dari titik tengah menara dan tinggi menara 42 meter serta panjang batang finial menara 2 meter, maka dapat dicari sudut perlindungan penangkal petir menara terhadap gedung (shelter) menggunakan persamaan sudut lindung untuk $h < r_s$ maka didapat perlindungan terhadap shelter sebagai berikut :

Dan panjang radius proteksi bola bergulir-nya adalah :

$$R = \sqrt{h_1(2d_s - h_1)}$$

$$R = \sqrt{44(2.190,625 - 44)}$$

$$R = 121,8 \text{ m}$$

Dengan begitu luas radius perlindungan menara telekomunikasi yang dilengkapi terminal udara adalah :

$$\begin{aligned} A &= \pi.R^2 \\ &= 46582,6536 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

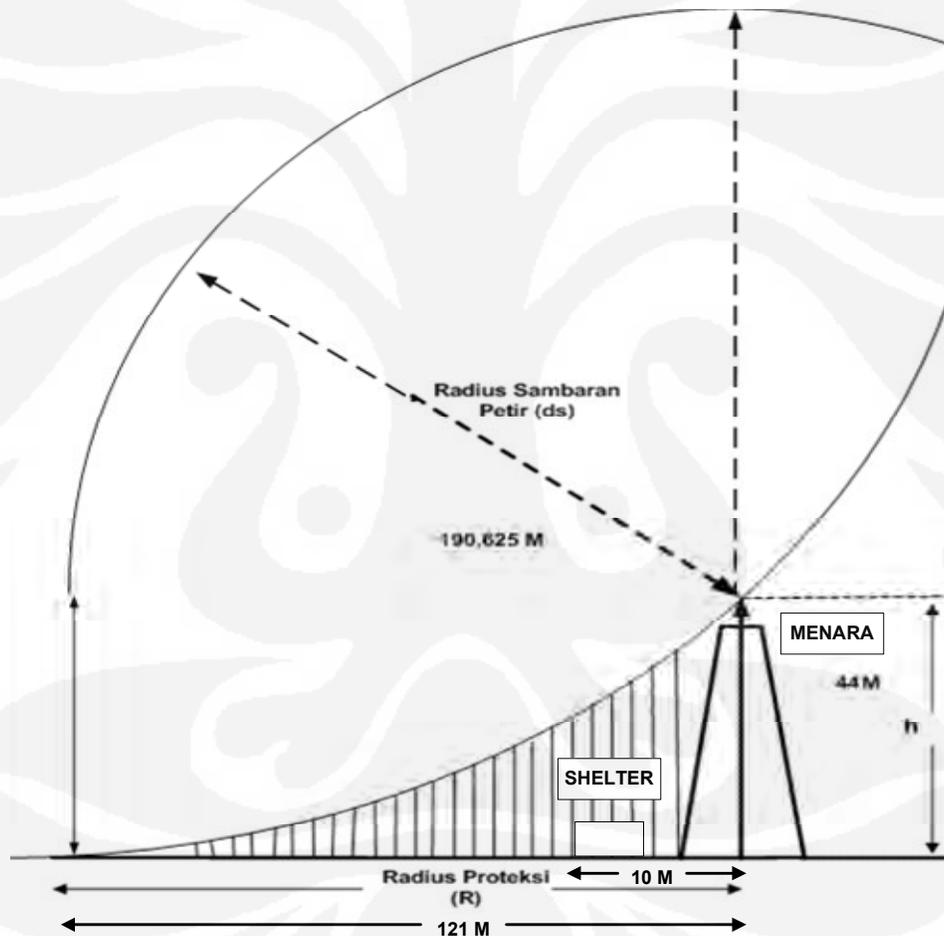
Jarak aman terjauh shelter dari sambaran langsung petir dengan tinggi bangunan setinggi 3.3 m yang diukur dari titik 0 (pusat menara) adalah :

$$R_2 = R \left[1 - \sqrt{\frac{2dh_2 - h_2^2}{2dh_1 - h_1^2}} \right]$$

$$R_2 = 121,8 (0,7101)$$

$$R_2 = 86,49018 \text{ m.}$$

Dengan demikian setiap bangunan dapat berbeda-beda jarak perlingkungannya terhadap sambaran petir, yang jarak terjauhnya yang masih aman dari sambaran petir tergantung dari tinggi bangunan tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi gambar berikut :

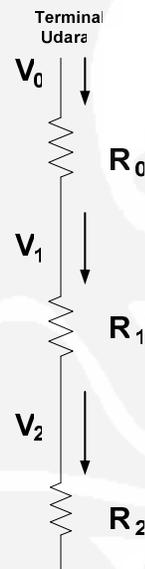


Gambar 4.3 Gambar Radius Proteksi Sambaran Petir yang ditanggulangi oleh Menara BTS dengan metode bola bergulir.

4.3 Perhitungan dan Evaluasi Terminal Udara terkait Fenomena Beban Korosi.

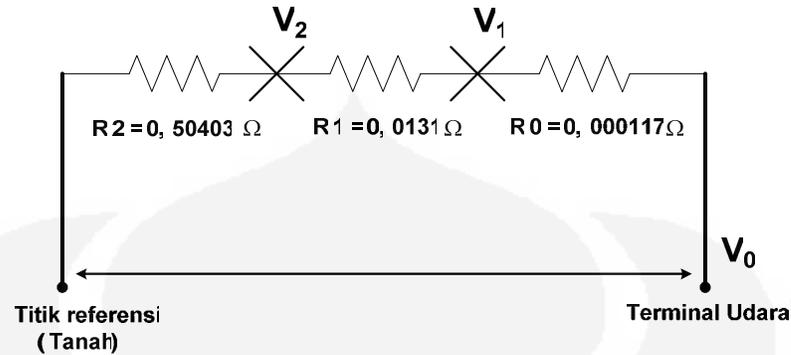
Konfigurasi sistem penyaluran arus petir dapat dilihat pada gambar 4.3. menara dengan ketinggian 42 meter ini memiliki terminal udara berupa batang yang meruncing yang terbuat dari tembaga setinggi 2 meter dan memiliki satu pentanahan yang terpisah sendiri sehingga penyaluran arus petir hanya melalui 1 penyalur. Detail tahanan yang di hitung pada sistem penyaluran arus petir pada menara sebagai berikut :

- Tahanan terminal udara dengan material tembaga dengan panjang 2 m, yaitu $R_0 = 0,00011794 \Omega$
- Tahanan satu buah penghantar penyalur dari kawat BC 50 SQMM sepanjang 42 m, yaitu : $R_1 = 0,0131 \Omega$
- Tahanan penghantar penyalur menjelang sistem pentanahan yaitu terdiri dari memperhitungkan tahanan kawat BC sepanjang 12 m dan elektroda plat yaitu $R_2 = 0,50403 \Omega$



Gambar 4.4 Pemodelan Penyaluran Arus petir pada *down conductor*

Dengan analisis rangkaian listrik maka didapat rangkaian pengganti seperti di gambarkan pada gambar 4.4 :



Gambar 4.5 Pemodelan rangkaian tertutup pada penyaluran arus petir

Analisis rangkaian dilakukan untuk menentukan besar tegangan V_0 , V_1 dan V_2 terhadap titik referensi, sehingga diketahui distribusi arus petir yang terjadi.

Maka nilai tahanan total (R_{tot}) = $R_0 + R_1 + R_2 = 0,51724 \Omega$

4.3.1 Perhitungan Beban Korosi Pada Terminal Udara

Terminal udara menara telekomunikasi BTS yang berupa vertikal sangat dimungkinkan dapat tersambar petir secara langsung sehingga dalam evaluasi, pengamatan pelelehan logam dilakukan terhadap tembaga terminal udara. Pengamatan terhadap material terminal udara ini menghasilkan bahwa material terminal udara sudah memenuhi standard minimal proteksi. Split Tembaga dengan diameter $\frac{3}{4}$ inch atau 19 mm yang meruncing. Terminal udara ini terhubung dengan *down conductor* kawat terbuka (BC) yang berjenis logam dengan dimensi 50 mm^2 .

Pelelehan logam/beban korosi yang terjadi pada komponen terminal udara ini merupakan efek dari besar arus petir dan banyaknya muatan yang dibawa. Data tingkat pelelehan logam [v] dengan arus sambaran di asumsikan dari nilai minimum 20 kA hingga maksimum 200 kA. Dengan muatan listrik Q yang ditransfer 10 – 100 C maka pelelehan logam pada terminal udara dapat dilihat pada tabel berikut ini :

V_0 (v) = tegangan pada terminal udara

V_0 (v) = $I \cdot R_{(tot)}$

Untuk menghitung pengaruh energi petir terhadap efek leleh logam akibat pemanasan, maka dapat di gunakan rumus berikut :

$$v = \frac{W}{\gamma(C_w \cdot \partial + C_s)}$$

Dimana :

v = volume pelelehan logam [m^3]

W = energi petir [J]

γ = rapat massa [kg/m^3]

C_w = kapasitas panas spesifik [$J/kg.K$]

∂ = temperatur leleh [$^{\circ}C$]

C_s = Panas leleh spesifik [J/Kg]

$W = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot V$ = energi petir [J]

Q = muatan listrik petir [As atau C]

V = tegangan [V]

Tabel 4.2 Tabel Volume Pelelehan Logam pada Terminal Udara.

Arus [KA]	V_1 [KV]	Q [C]	W [KJ]	V [cm^3]
20	10,344	10	51,72	9,280
40	20,689	20	206,89	37,122
60	31,034	30	465,51	83,526
80	41,379	40	827,58	148,510
100	51,724	50	1293,1	232,020
120	62,068	60	1862,04	334,105
140	72,413	70	2534,455	454,756
160	82,758	80	3310,72	594,041
180	93,103	90	4189,635	751,744
200	103,448	100	5172,4	928,081

4.3.2 Evaluasi Terminal Udara

Dengan mengamati dan mencari data *existing* pada finial udara yang terpasang pada menara BTS X Cipondoh Tangerang maka :

- Jenis Finial : Finial yang digunakan merupakan jenis finial pasif yang menggunakan metode Franklin Rod.

- Finial udara yang digunakan juga sudah memenuhi syarat ketahanan. Finial yang terpasang disambung secara sambungan elektris yang di klem jarak 5 cm serta di las tanpa adanya kemungkinan terbuka. Dengan demikian maka finial terpasang secara kokoh yang mampu menahan terpaan angin, guncangan dan menahan berat tarik *down conductor* yang menggantung pada finial udara.
- Bahan yang digunakan adalah tembaga dengan panjang(tinggi) 2 m hal ini sudah memenuhi syarat ketentuan yang direkomendasikan yaitu penggunaan tembaga dan tinggi finial sekurang-kurangnya 15 cm dari permukaan sekitar. Hal ini yang sesuai peraturan menteri tenaga kerja No. Per.02. Men.1989 tentang PPIP.

4.4 Perhitungan dan Evaluasi Konduktor Pembumian Terkait Fenomena

Beban Korosi

Konduktor Pembumian atau Konduktor ke bawah (*down conductor*) yang terpasang adalah dengan menggunakan kabel tembaga BC 50 SQMM.

Efek beban korosi atau pelelehan logam juga dialami pada komponen *down conductor* ketika arus petir mengalir. Data tingkat pelelehan logam [v] dengan arus sambaran di asumsikan dari nilai minimum 20 kA hingga maksimum 200 kA. Dengan muatan listrik Q yang ditransfer 10 – 100 C maka pelelehan logam pada *down conductor* dapat dilihat pada tabel berikut ini :

V_1 = tegangan pada *down conductor*

$$V_1 = I \cdot R_{(R1+R2)}$$

$$\rho \text{ tembaga} = 1,68 \cdot 10^{-8} ; R_{(\text{down conductor})} = 0,0131 \Omega$$

Tabel 4.3 Tabel Volume Pelelehan Logam pada *Down Conductor*.

Arus [KA]	V _i [KV]	Q [C]	W [KJ]	V [cm ³]
20	10,342	10	51,71	9,27
40	20,684	20	206,84	37,11
60	31,026	30	465,39	83,50
80	41,368	40	827,36	148,45
100	51,710	50	1292,75	231,95
120	62,052	60	1861,56	334,03
140	72,394	70	2533,79	454,63
160	82,736	80	3309,44	593,81
180	93,078	90	4188,51	751,52
200	103,420	100	5171	927,83

Volume keseluruhan kabel konduktor pembumian jika di modelkan sebagai tabung dengan panjang 42 m adalah

$$\text{Luas alas} = 50 \text{ mm}^2 = 0,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Panjang} = 42 \text{ m, maka } p = 4200 \text{ cm}$$

$$\text{Volume total} = 0,5 \times 4200 = 2100 \text{ cm}^3$$

Maka dengan arus maksimum 200 kA maka mampu melelehkan sepertiga volume konduktor pembumian.

4.4.1 Evaluasi dan Analisis Konduktor Pembumian

- Konduktor pembumian Pada SPP Menara BTS mampu menyalurkan arus petir ke bumi tanpa menyebabkan efek listrik terhadap objek sekitar. Hal ini ditandai dengan penggunaan pipa logam galvanis sebesar 2 inch yang di sambung sedemikian rupa sehingga tersambung secara elektrik dan mekanis.

- Konduktor pembumian ketika menyalurkan arus petir sebesar 93,22 kA ternyata membangkitkan efek korosi pelelehan logam sekitar volume 190 cm³ atau 9% dari total volume keseluruhan konduktor pembumian. Jika hal ini dibiarkan suatu saat dapat memutuskan konduktor pembumian. Untuk itu penggunaan lapisan pelindung thermal dan anti korosi dapat digunakan untuk mengurangi efek tersebut.
- Penggunaan kawat BC 50 SQMM yang menggunakan bahan tembaga dengan luas 50 mm² sudah memenuhi syarat minimum penggunaan konduktor pembumian berdasarkan peraturan menteri tenaga kerja No. Per.02. Men.1989 tentang PPIP.
- keamanan dari bahaya *Side flash* yang disebabkan adanya petir yang mengalir sepanjang *down conductor* ternyata sudah cukup aman dengan nilai *safety distance* yaitu :

$$S = K_i \frac{K_c}{K_m} l \quad (\text{dengan } K_i = 0,06 \text{ untuk proteksi Lv II, } K_c = 1 \text{ untuk untuk}$$

1 *down conductor* dan $K_m = 0,5$ untuk bahan concrete, l = panjang *down conductor*)

Maka $S = 5,04$ m, sedangkan jarak antara *down conductor* menara dan shelter adalah 7 m. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar dibawah berikut :

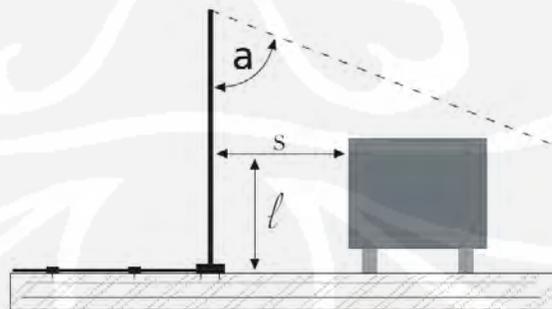


Figure 1. Separation distance concept for an isolated lightning protection solution.

Gambar 4.6 Konsep Jarak Aman untuk SPP Terisolasi

4.5 Sistem Pentanahan

Elektroda pentanahan untuk sistem Pentanahan yang digunakan adalah elektroda jenis plat yang terintegrasi dengan elektroda batang. Bahan dari elektroda pbumian tersebut adalah tembaga. Elektroda pbumian ini dipasang dengan kedalaman 12 meter dibawah bak kontrol dengan ukuran 40 x 40 x 40 cm.

4.5.1 Tegangan Jatuh Pada Elektroda Pentanahan

Pada menara BTS X Tangerang digunakan sistem pbumian dengan cara menanamkan elektroda plat (pentanahan tunggal) yang memiliki dimensi $p = 1$ m, $L = 1$ m dan ketebalan = 3 mm . Sehingga tahanannya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$R_p = \frac{\rho}{4,1Lp} \left(1 + 1,84 \frac{W_p}{T_p}\right)$$

$$R_p = \underline{\underline{0,4934 \Omega}}$$

Dimana :

R_p = Tahanan pentanahan pelat (Ω)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ωm) = 3 Ωm

L_p = Panjang pelat (m) = 1,5 m

W_p = Lebar pelat (m) = 5 cm = 0,05 m

T_p = Kedalaman pelat (m) = 8 m.

Maka jatuh tegangan pada elektroda yang terhubung pada menara BTS X pada saat terjadinya sambaran petir adalah :

$$V = I_{\text{petir}} \cdot R_p$$

$$V = 93,22 \text{ kA} \cdot 0,5 \Omega$$

$$V = 46,61 \text{ kV.}$$

Tegangan sebesar ini cukup berbahaya bila hanya terkumpul disuatu titik tanah. Untuk itu diperlukan pemakaian sistem pentanahan tersebar (Ring).

4.5.1.1 Elevasi Tegangan Pada Sistem Pembumian

Pada kasus ini diasumsikan jika petir menyambar menara antenna, karena dianggap potensial untuk tersambar. Saat terjadi sambaran, arus petir mengalir di penghantar pentanahan manara.

Data yang didapat mengenai keadaan elektroda pentanahan di kedua bangunan adalah sebagai berikut :

- panjang elektroda pentanahan menara (L) adalah 1,5 m. Dan panjang pentanahan elektroda shelter (M) adalah 7 meter.
- Kedalaman ujung atas elektroda pentanahan dari permukaan tanah (D) = 2 m.
- Jarak kedua elektroda pentanahan adalah 5 meter. Berarti koordinat ujung atas elektroda di shelter terhadap elektroda menara adalah (0,0,5)

Dengan data yang diperoleh tersebut maka :

$$V = \frac{\rho \cdot i}{4\pi LM} [G(z + L, y, x) - G(z, y, x) + G(z - 2D, y, x) - G(z - 2D - L, y, x)]$$

Dengan :

$$G(a,b,c) = G_1(a+M,b,c) - G_1(a,b,c)$$

$$G_1(a,b,c) = [a \ln(a + \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}) - \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}]$$

Dengan :

ρ = tahanan jenis tanah (Ω)

i = arus puncak petir (kA)

L = panjang elektroda 1 (m)

M = panjang elektroda 2 (m)

D = kedalaman ujung atas elektroda dari permukaan tanah. (m)

Maka elevasi tegangan disekitar pentanahan *site* BTS yang meliputi tegangan pada elektroda shelter akibat sambaran petir adalah :

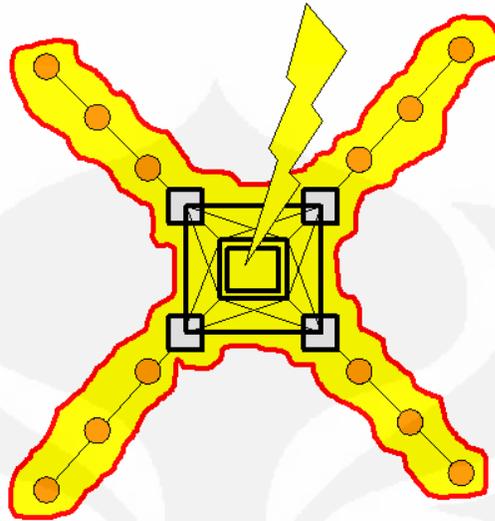
$$V = \frac{3.93,22kA}{4.3,14.1,5.7} \times 20,2629$$

$$V = 42,9687 \text{ kV} \approx 43 \text{ kV.}$$

4.5.2 Evaluasi Sistem Pentanahan

- Tahanan pentanahan pada menara BTS sudah bagus menurut informasi dari karyawan setempat, hal ini di buktikan dengan perhitungan yang tercapai nilai $0,5 \Omega$ dengan jumlah elektroda tunggal yang dirancang khusus sesuai gambar 3.4.
- Dengan nilai tahanan pentanahan $0,5 \Omega$ maka nilai *grounding* pada menara BTS sudah memenuhi sesuai standard telekomunikasi, yaitu ($< 3 \Omega$) dan PUIL 2000 Pasal **3.13.2.10** untuk total seluruh system tahanan pembumian tidak boleh lebih dari 5Ω serta peraturan menteri tenaga kerja No. Per.02. Men.1989 tentang PPIP yang menyebutkan bahwa pembumian seharusnya mencapai titik air atau membuat kondisi tanah dengan teknik-teknik tertentu. Dengan kedalaman 8-12 m, untuk daerah cipondoh Tangerang, pembumian dengan menggunakan elektroda sudah mencapai titik air.
- Elektroda Pembumian menggunakan bahan tembaga anti korosi dan memenuhi syarat peraturan menteri tenaga kerja No. Per.02. Men.1989 tentang PPIP yaitu penggunaan lebar elektroda plat lebih dari 2,5 cm (5 cm) dan diameter lebih dari 3.5 mm (20 mm).
- Pengurangan loop pembumian (eliminate earth loops) memungkinkan untuk mencegah terjadi adanya loncatan yang ditimbulkan adanya perbedaan potensial tegangan antara satu system pembumian dengan yang lainnya. Potensi *earth loops* setelah dilakukan perhitungan sebesar 46 kV. Dengan demikian untuk mencegah hal itu terminasi bumi antara menara dan shelter serta sekeiling *site* BTS dihubungkan satu sama lain dengan jumlah total terminasi pembumian 7 terminasi. Dengan cara ini penyaluran arus petir akan efektif tersebar rata ke seluruh tanah di sekitar *site* BTS. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 4.7

Ilustrasi Pengurangan Loop Pembumian dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.7 Disipasi energi pada saat terjadi sambaran petir

- Dengan menggunakan beberapa elektroda pentanahan tersebar ke seluruh pentanahan di area BTS maka besar elevasi tegangan di tiap titik elektroda menjadi 43 kV. Ini masih cukup berbahaya maka proteksi yang dapat dilakukan adalah dengan menyebarkan batu-batuan kerikil di permukaan tanah yang memiliki resistansi tinggi seperti pada tabel berikut :

Tabel 4.4 Tahanan tanah

Tipe Permukaan Tanah	Tahanan Tanah k Ω	P'h
Hunus	< 1	10 ⁻²
Marmar	1 – 10	10 ⁻³
Kerikil	10 – 100	10 ⁻⁴
Aspal	> 100	10 ⁻⁵

4.6 Sistem Proteksi Petir Internal

SPP internal merupakan rangkaian pengaman peralatan dari efek surja yang ditimbulkan karena sambaran petir langsung maupun tidak langsung. Sistem pengaman ini bertujuan untuk mengamankan peralatan akibat tegangan lebih yang ditimbulkan karena sambaran tidak langsung atau efek induksi elektromagnetik yang ditimbulkan oleh aliran arus impulse petir di konduktor pentanahan.

Sistem pengamanan diatas dimaksudkan untuk meminimalkan efek yang ditimbulkan oleh sambaran petir secara tidak langsung yang walaupun suatu bangunan sudah dilindungi terhadap sambaran langsung, tapi peralatan yang ada dalam bangunan yang merupakan perangkat elektronik sangat peka terhadap kenaikan imbas tegangan lebih yang dapat merusak perangkat semikonduktor dalam peralatan, ini bisa dilihat untuk peralatan BTS/RBS sistem input/output (I/O)-nya dapat rusak bila ada kenaikan tegangan antara 40 – 90 volt yang toleransi tegangan maksimum I/O-nya hanya sampai pada 275 VAC.

Peralatan yang umum digunakan pada tenaga listrik untuk pengamanan peralatan yang memakai semikonduktor maka dipakai peralatan seperti trafo pengisolasi, penyaring (filter), peralatan pelepas gas. Varistor, diode, dan alat pemotong semikonduktor yang semuanya digunakan untuk melindungi dari tegangan lebih yang datang baik dari saluran kabel tenaga listrik ataupun saluran kabel data. Faktor-faktor yang diperhatikan dalam memilih pengamanan internal adalah sebagai berikut : tipe dari kabel, level signal, impedansi sistem, bandwidth yang digunakan yang berhubungan dengan kecepatan penyampaian data, besar arus surja, sistem pentanahan, metode instalasinya.

Sistem Pengaman Internal secara garis besar dapat terdiri dari :

- Proteksi Minimalisasi Induksi
- Pemakaian SPD (*Surge Protection Devices*)
- Perbaikan Sistem Pentanahan

4.6.1 Proteksi Minimalisasi Induksi

Dalam mengevaluasi BTS terkait Proteksi Minimalisasi Induksi pada fenomena sambaran petir maka dilakukan perhitungan-perhitungan berikut dalam membantu analisis sistem proteksi internal

4.6.1.1 Perhitungan Induksi Konduktor Pembumian

Tegangan induksi yang terjadi akibat rangkaian kopling magnetik dari kabel BC 50 SQMM sebagai *down conductor* dengan menara antena, dapat dicari dengan memakai persamaan berikut ini :

$$L' = 2l \cdot \log\left(\frac{2l}{a}\right) \cdot 10^{-7} \text{ H}^{[9]}$$

$$L = L' / I$$

$$U_{ik} = L \cdot \frac{di}{dt}$$

Jika kecuraman arus petir yang mengalir pada kabel diketahui :

- $(di/dt)_{\text{maks}} = 9,322 \text{ kA} / \mu\text{s}$
- Panjang kabel down konduktor adalah : 42 m
- Jari – jari konduktor = 4 mm.

$$\text{Maka } L(\text{induktansi}) = 363,066/42 = 8,644 \cdot 10^{-7} \text{ H}$$

Sehingga untuk arus yang mengalir pada suatu konduktor 93,22 kA/ μs , maka besar tegangan induktif yang terjadi pada kabel BC 50 SQMM adalah :

$$U_{ik} = 8,644 \cdot 10^{-7} \cdot (9,322 \cdot 10^3 / 10^{-6}) \text{ V}$$

$$U_{ik} = 80,5793 \cdot 10^2 \text{ V} = 8,057 \text{ kV} / \text{m.detik.}$$

4.6.1.2 Perhitungan Induksi Pada Kabel Coax

Tegangan induksi yang mengalir sepanjang kabel koaksial dengan asumsi kuat medan magnet yang diterima setiap kabel adalah sama maka besar tegangan induktif kabel adalah

$$L_{\text{coax}} = 0,285 \mu\text{H/m (dari tabel)} \times 42 \text{ m} = 11,97 = 12 \mu\text{H.}$$

Maka tegangan induktif yang terjadi pada kabel koaksial adalah

$$U_{i\text{-coax}} = L_{\text{coax}} \cdot \frac{di}{dt}$$

Dimana :

$$U_{i\text{-coax}} = \text{tegangan induktif coax}$$

$$L_{\text{coax}} = \text{induktansi coax.}$$

Maka besarnya tegangan induksi pada kabel coax yang diakibatkan mengalir-nya arus petir di *down conductor* adalah :

$$U_{i\text{-coax}} = 12 \mu\text{H} \cdot 9,322 \text{ kA}/\mu\text{s.}$$

$$U_{i\text{-coax}} = 111,864 \text{ V.}$$

4.6.1.3 Perhitungan Tegangan Lebih Pada Kabel Koaksial

Berikut adalah pemodelan distribusi arus petir yang menyambar menara telekomunikasi.

Arus di distibusiikan melalui impedansi total antara kabel koaksial, menara dan *down conductor*.

Dengan rumus sargent yang menggunakan pendekatan model menara transmisi maka impedansi menara antenna BTS (Z_t) dapat dihitung dengan persamaan :

$$(Z_t) = 30 \ln \frac{2(ht^2 + rt^2)}{rt^2}$$

Dimana :

Rr adalah jari-jari ekivalen kaki menara (meter)

h_t adalah tinggi menara antenna (meter)

jari – jari ekivalen kaki menara r_t menurut rumus anderson dan hangenguth :

$$\ln r_t = \frac{ho}{ht(xb - xu)} [xb(\ln xb - 0,87) - xu(\ln xu - 0,87) + \frac{ht - ho}{ht} \ln(1,14.xu)]$$

maka r_t (bts X) = **1,727**

dan impedansi menara bts X (Z_t) = **191,52770 Ω** .

Impedansi kabel koaksial. Adalah = 75 Ω .

Banyaknya kabel koaksial = 7, maka impedansi total koaksial = **10,714 Ω** .

Impedansi total sistem penyalur petir = R terminal udara + R down conductor + R pembumian. Maka total impedansi sistem penyalur petir adalah mendekati **0,5 Ω**

Maka total pembagian arus adalah $\frac{1}{10,714\Omega} + \frac{1}{191,5277\Omega} + \frac{1}{0,5\Omega}$

$$\text{Maka} = \frac{95,763 + 5,357 + 2052,027}{1026,0138} = \frac{2153,147}{1026,0138}$$

Maka besar-nya arus petir yang terdistribusi secara merata ke 7 kabel koaksial dengan besar arus petir 93,22 kA adalah :

$$\frac{95,763}{2153,147} \times 93,22(\text{kA}) = 0,463 \text{ kA}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } i_{\text{coax}} &= 0,463 \text{ kA} / 7 \\ &= 0,0661 \text{ kA per kabel coax.} \end{aligned}$$

Lalu besar-nya arus petir yang terdistribusi ke menara antenna = 0,231 kA

Dan sebagian besar arus petir mengalir ke *down conductor* lalu menuju pembumian sebesar 88,84 kA.

Dengan demikian maka tegangan lebih yang merambat di kabel koaksial sepanjang saluran hingga ke shelter akibat adanya sambaran petir dapat di hitung dengan pendekatan persamaan :

$$V_{\text{lbh}} = r_k \cdot i_{\text{coax}} \cdot l$$

Dimana :

V_{lbh} = tegangan lebih pada koaksial. (kV)

r_k = kopling resistansi (Ω/m)

i_{coax} = arus petir yang mengalir pada kabel koaksial (kA)

l = panjang kabel koaksial.

Kabel LDF5-75 adalah kabel coax dengan konduktor tembaga maka untuk menghitung besarnya tahanan kopling dipergunakan persamaan :

$$r_k = 0,083 \sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)$$

dimana :

D = diameter konduktor luar (m)

d = diameter konduktor dalam (m)

f = frekuensi kerja saluran koaksial (Hz)

maka besarnya tegangan lebih yang mengalir pada kabel koaksial tipe LDF5-75 ditunjukkan oleh tabel berikut :

$d = 5,588 \text{ mm}$, $D = 24,892 \text{ mm}$

Tabel 4.5 Tegangan lebih pada kabel LDF5-75

Frekuensi (MHz)	r_k (Ω/m)	i_{coax} (kA)	l_{max} (m)	V_{lbh} (kV)
800	0,0107	0,0661	42	0,0297
824	0,0108			0,0299
894	0,0113			0,0313
960	0,0117			0,0324
1000	0,0120			0,0333

Kabel RG-11 : $d = 7,311 \text{ mm}$, $D = 10,03 \text{ mm}$.

Tabel 4.6 Tegangan lebih pada kabel RG-11

Frekuensi (MHz)	r_k (Ω/m)	i_{coax} (kA)	l_{max} (m)	V_{lbh} (kV)
700	0,0091	0,0661	42	0,0297
900	0,0103			0,0299
1000	0,0109			0,0313
1450	0,0131			0,0324
1800	0,0146			0,0333

4.6.1.4 Perhitungan Induksi Rangka Shelter

Lalu besarnya induksi yang mempengaruhi ruangan shelter sebagaimana bangunan tersebut merupakan bangunan bertulang besi yang sejajar dengan *down conductor* dengan parameter sebagai berikut :

- Jarak antara *down conductor* dan shelter (a) = 6 m.
- panjang total induksi yang merupakan jarak shelter + panjang bangunan shelter (c).

Data teknis panjang bangunan shelter = 4 m.

maka (c) = panjang bangunan + (a) = 10 m.

- tinggi bangunan shelter (b) = 3 m.

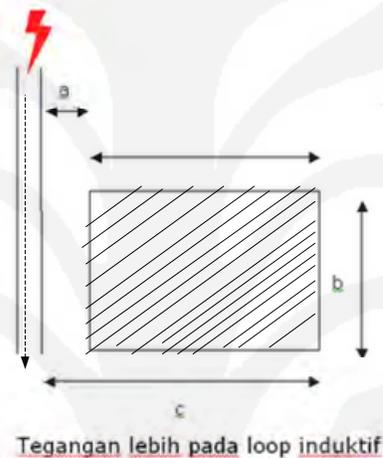
Maka besarnya tegangan induksi yang mempengaruhi tegangan kerangka besi pada shelter adalah =

$$U_i = M \cdot \frac{di}{dt}$$

$$M = 0,2 \cdot b \cdot \ln\left(\frac{c}{a}\right); \text{ maka } M = 0,2 \cdot 4 \cdot \ln(1,6666)$$

Maka $M = 0,2758 \text{ H}$.

Maka $U_i = 0,2758 \text{ H} \cdot 9,322 \text{ kA}/\mu\text{s} = 2,571 \text{ kV}$.



Gambar 4.8 Ilustrasi Induksi pada penghantar

4.6.1.5 Evaluasi Proteksi Minimalisasi Induksi

- Konduktor pembumian ketika menyalurkan arus petir sebesar 93,22 kA ternyata membangkitkan tegangan induksi sebesar 8,057 kV/m.detik dan menghasilkan tegangan induksi pada kabel koaksial sebesar 111,864 V. Maka proteksi pada konduktor pembumian harus dilakukan. Proteksi yang terpasang pada BTS sudah benar yaitu dengan menyelubungi konduktor pembumian dengan pipa logam galvanese dengan diameter 2 inch
- Induksi yang terjadi pada kabel koaksial yang terpasang pada BTS secara analisis perhitungan dapat terjadi sebesar 111,864 V. Hal ini akan membahayakan peralatan elektronik RBS dan Transmisi yang terhubung pada kabel koaksial tersebut. Maka proteksi internal harus dilakukan. Proteksi yang internal yang terpasang adalah dengan

menghubungkan *shielding cable coax* pada *grounding Bar* (sistem pentanahan). Hal yang dilakukan ini sudah benar dengan membuang semua tegangan dan arus yang tidak diperlukan ke sistem pentanahan.

- Analisis perhitungan tegangan lebih pada kabel koaksial yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan lebih yang terjadi tidak terlalu besar akibat > 95% arus petir mengalir ke konduktor pembumian, sehingga arus petir yang mengalir melewati kabel cukup kecil.
- Perhitungan induksi yang terjadi pada rangka shelter akibat kopling induksi dari konduktor pembumian sebesar 2,571 kV. Tegangan ini cukup berbahaya bila tersentuh oleh manusia bila berada dalam shelter. Maka proteksi pada rangka shelter harus dilakukan. Proteksi internal yang dilakukan di *site* BTS sudah benar yaitu dengan menghubungkan *body shelter* dengan sistem pentanahan. Dengan demikian tegangan dan arus yang tidak diperlukan tersebut terbuang melalui sistem pentanahan.

4.6.2 Surge Protection Devices (SPD)

Untuk pemakaian SPD pada SPP internal dapat menggunakan OBO surge arrester CPS OBO MCD 50-B/3 + MCD 120 B/NPE dan dikombinasikan dengan V20 C/3 + NPE FS SU atau PHONIX type Trabset BC/3 +1 – 10 FM sebagai alat proteksinya. Dari data yang di dapat, terdapat 1 ruangan yang terpasang arrester ini. Di setiap ruangan terpasang 4 buah blok arrester dan 1 *signalling device*. 4 blok arrester ini dibagi menjadi satu bagian sumber. Ini dilakukan semata-mata agar arus lebih yang terjadi dapat disalurkan pada bagian arrester tersebut, sehingga arus lebih yang terdapat pada kabel instalasi listrik pun tidak terlalu besar. *Signalling device* ini berfungsi sebagai penanda jika terdapat tegangan lebih pada instalasi listrik yang akan digunakan.

4.6.2.1 Surge Protection Devices yang Terpasang

SPD SPP internal yang dipasang adalah dengan menggunakan arrester merk OBO V20-C. SPP internal ini dipasang pada jalur daya antara sumber dari MCB PLN dan peralatan elektronika, diantaranya komputer, peralatan kontrol dan sebagainya.

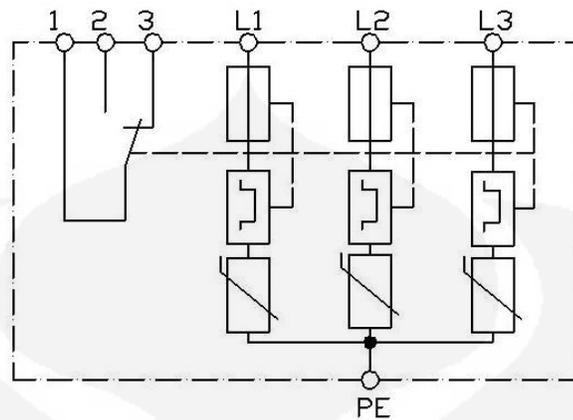
Arrester OBO V20 C/3 dapat menahan arus (*maximum discharge surge current*) hingga 110 kA dengan penghantaran arus nominal (*nominal discharge current*) sebesar 60 kA.



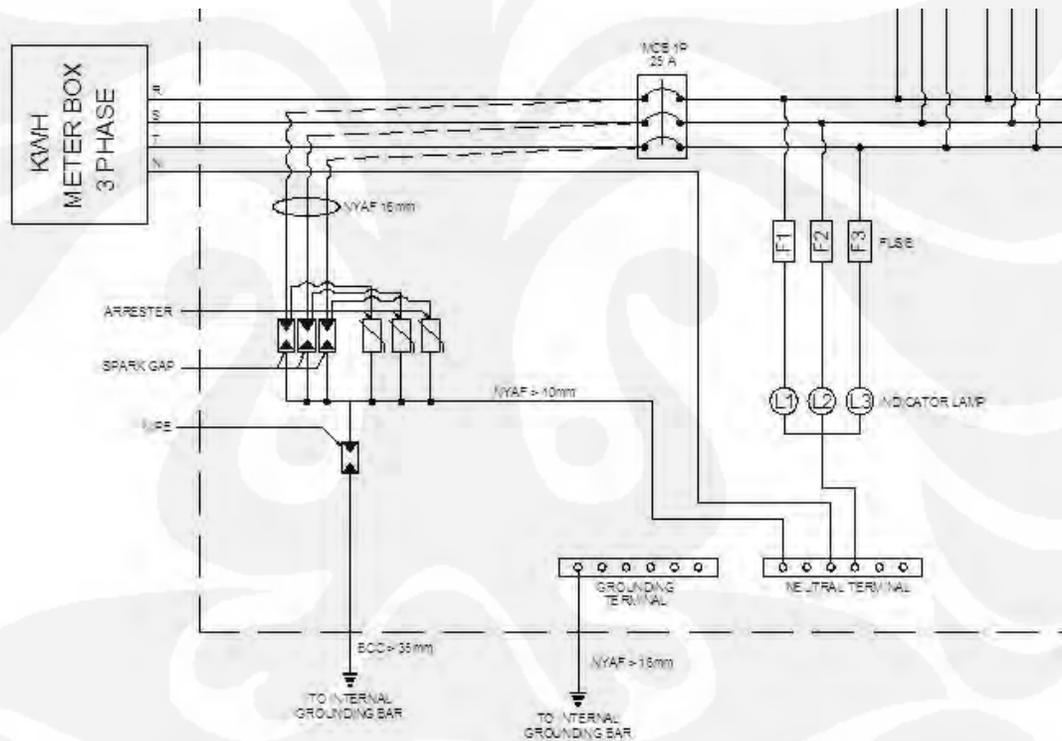
Gambar 4.9 Arrester OBO V20-C

4.6.2.2 Karakteristik OBO Arrester dan Diagram Pengawatannya.

Arrester OBO memiliki karakteristik yang sedikit berbeda dengan arrester lainnya, terutama dalam hal nilai Arus Surge Maksimal. Kemampuan arus surge maksimal arrester OBO adalah kemampuan arus surge maksimal tiap blok dikalikan dengan jumlah blok, ini dikarenakan arrester OBO dapat dirangkai sendiri sesuai dengan kebutuhan. (1 fasa, 3 fasa, atau dengan netral).

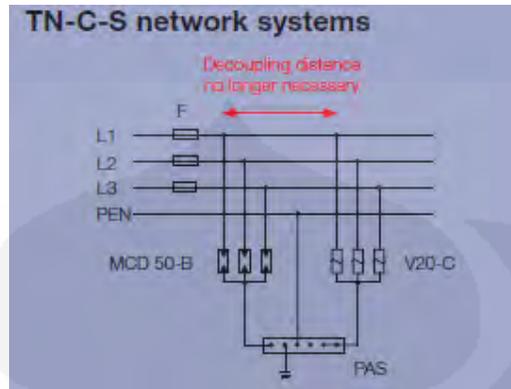


Gambar 4.10 Diagram Pengawatan Arrester OBO V25-B



Gambar 4.11 Skematik Arrester dan Spark Gap Terpasang Pada RBS

Pemasangan Spark gap dengan menggunakan OBO tipe MCD 50-B/3 yang dikombinasikan dengan V20 C/3 + NPE sudah sesuai dengan rekomendasi yang dianjurkan oleh pabrik OBO untuk sistem konfigurasi pentanahan TN-C-S.



Gambar 4.12 Skematik Spark gap- Arrester Rekomendasi OBO untuk TN-C-S

BAB V KESIMPULAN

Dari uraian teori, data, serta dari hasil perhitungan dan analisis pada proteksi eksternal dan internal pada menara BTS, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan analisis resiko, menara bts X dengan tinggi 44 m yang terletak di daerah Tangerang memiliki peluang tersambar, $N_d = \underline{1,36}$ sambaran petir per tahun Dengan nilai efisiensi SPP $E = 92\%$ sehingga Menara BTS memerlukan tingkat SPP minimum lv II. Dengan tingkat proteksi minimum lv II maka jarak (radius) proteksi penangkal petir terhadap daerah sekitarnya dengan analisis bola bergulir menjadi sejauh 121,8 m dengan luas 46582,6536 m²
2. Fenomena Efek leleh akibat sambaran petir juga tidak boleh diabaikan, dengan arus puncak 20 kA maka volume korosi yang terjadi sebesar 9,280 cm³ dan dengan arus puncak sebesar arus petir sebesar 93,22 kA ternyata membangkitkan efek korosi pelelehan logam sekitar volume 190 cm³ atau 9% dari total volume keseluruhan konduktor pembumian. Sehingga pemilihan logam yang tahan karat dan penggunaan lapisan anti ionisasi sangat dianjurkan.
3. Induksi yang terjadi dengan asumsi arus petir yang melewati memiliki nilai minimum berdasarkan tingkat proteksi lv II sebesar 93,22 kA maka nilai induksinya sebesar $U_{ik} = 8,057$ kV / m.detik. Proteksi yang terpasang dengan menggunakan pipa logam sebagai *shielding*.
4. Tegangan Induksi yang menjalar di kabel coax akibat efek induksi dari *down conductor* sebesar 111,84 V. Proteksi yang terpasang dengan menghubungkan *shielding* kabel dengan *grounding bar*.
5. Elevasi tegangan di seluruh pembumian di sekitar *site* BTS sebesar sekitar 40 kV dengan distribusi arus petir sebesar > 90% mengalir melewati *down conductor* langsung menuju terminasi pembumian. Proteksi yang terpasang dengan menggunakan sistem pentanahan tipe *ring* yang terdiri dari beberapa elektroda pentanahan.

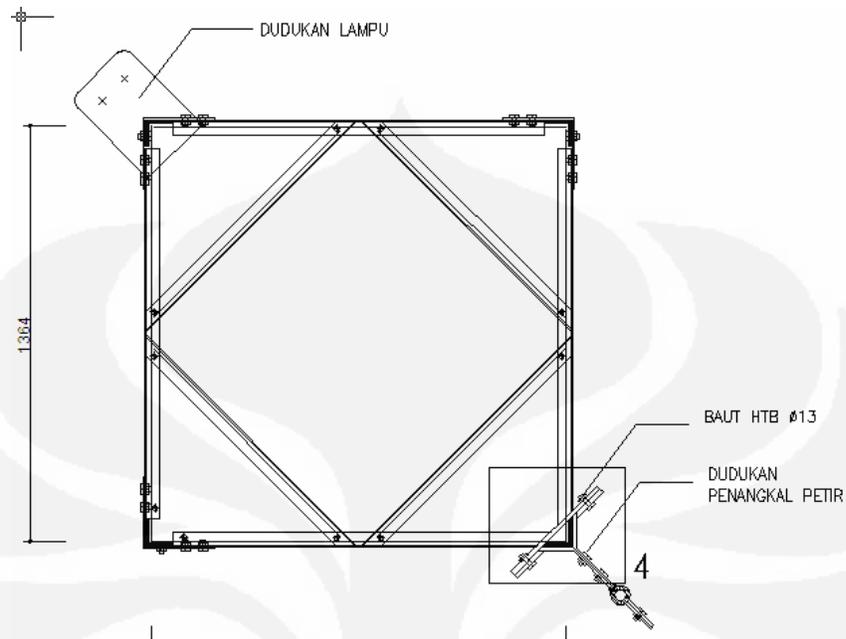
6. Sistem proteksi Internal yang terpasang mampu menahan tarus surja secara normal tanpa kerusakan sebesar 60 kA dan Maksimum-nya sebesar 110 kA dengan kecepatan responn sekitar 25 ns. Kecepatan ini jauh lebih cepat dari perambatan surja arus petir yang hanya berorde mikro detik.
7. Dari evaluasi beberapa poin pada sistem proteksi petir baik eksternal maupun internal, maka sistem proteksi petir yang terpasang pada BTS dilokasi Tangerang sudah baik.

DAFTAR REFERENSI

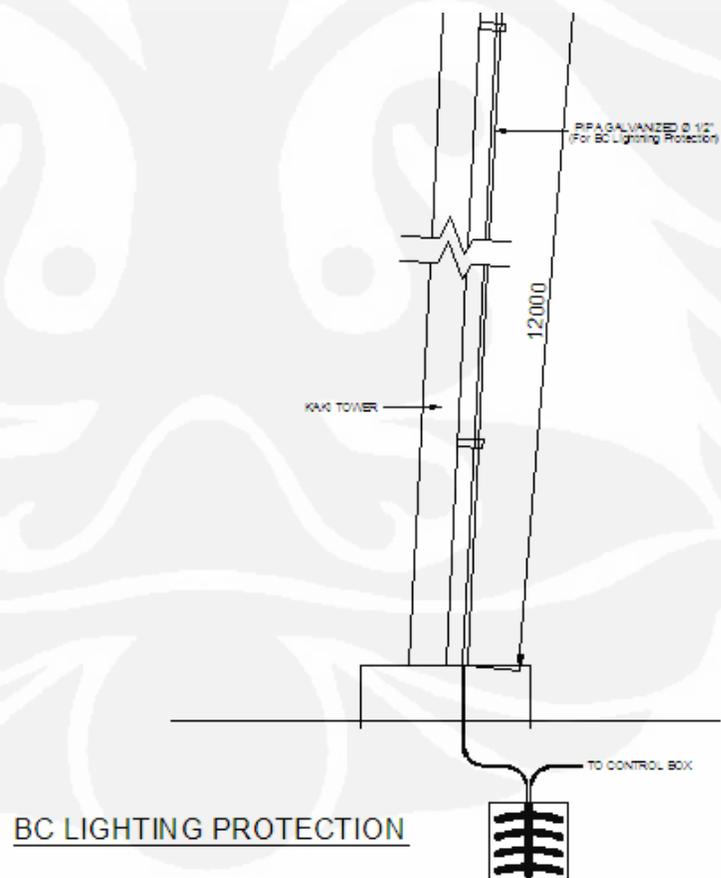
- 1) .P.Y. Okyere, Ph.D & *George Ediful. 2007.*Evaluation of rolling sphere method using Leader Potential Concept : A case study*. Kwame Nkrumah University of Science and Technology Kumasi-Ghana.
- 2) Zorro, Reynaldo. *Induksi dan Konduksi gelombang elektromagnetik akibat sambaran petir pada jaringan tegangan rendah*. ITB. Bandung
- 3) Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. 2000. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.
- 4) SNI – IEC 62305 2009.
- 5) <http://lightningbuster.blogspot.com/>
- 6) IEC 10241-1, *Protection of structure against lightning*. International standard. Geneva 1990.
- 7) Polinsar H, Ravmon. *Sistem Penilaian Resiko Terpadu terhadap sambaran petir*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro UI.1998.
- 8) Khofaria, Hafizhu. *Analisis sistem proteksi petir konvensional dan modern pada PT SKY Indonesia*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro UI. 2004.
- 9) Sanjaya, Aan Rully. *Optimalisasi sistem pengamanan jaringan komputer lokal (LAN) terhadap surja petir*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro UI. 1999.
- 10) Indriani, Astried. *Evaluasi sistem proteksi petir konvensional gedung bertingkat (perkantoran)*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro UI. 2001
- 11) Penerapan Metode Jala, Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra.
- 12) http://www.obo-bettermann.com/downloads/en/prospekte/mcd_en.pdf
- 13) <http://www.08lightning.com/en/productview.asp?ID=195>

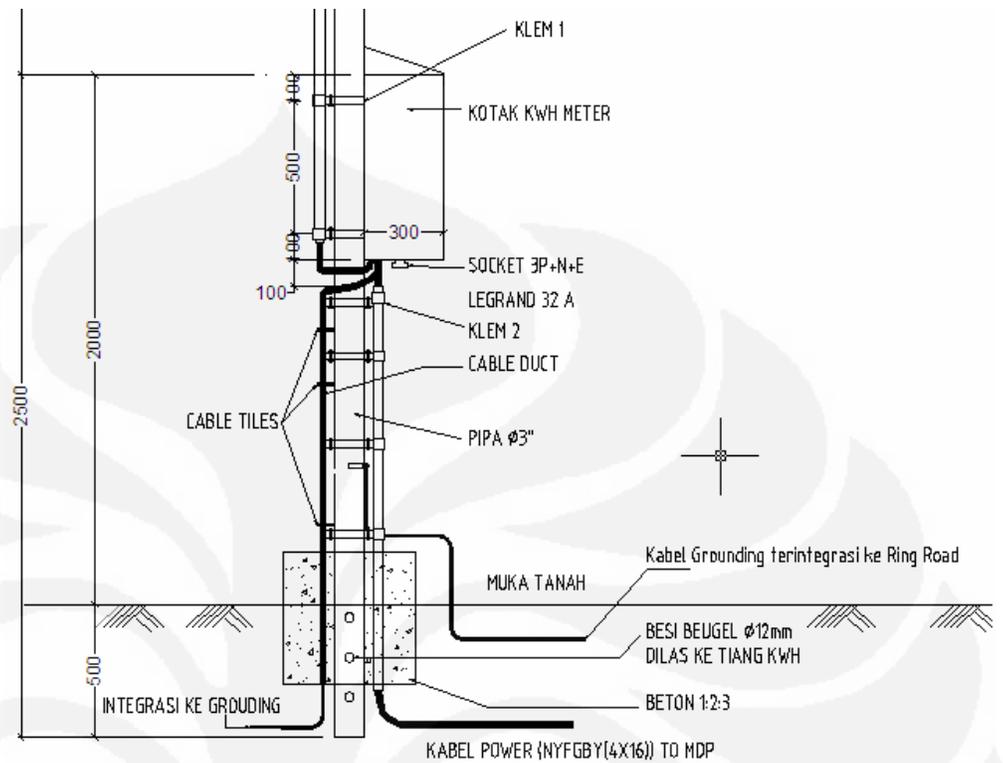


LAMPIRAN

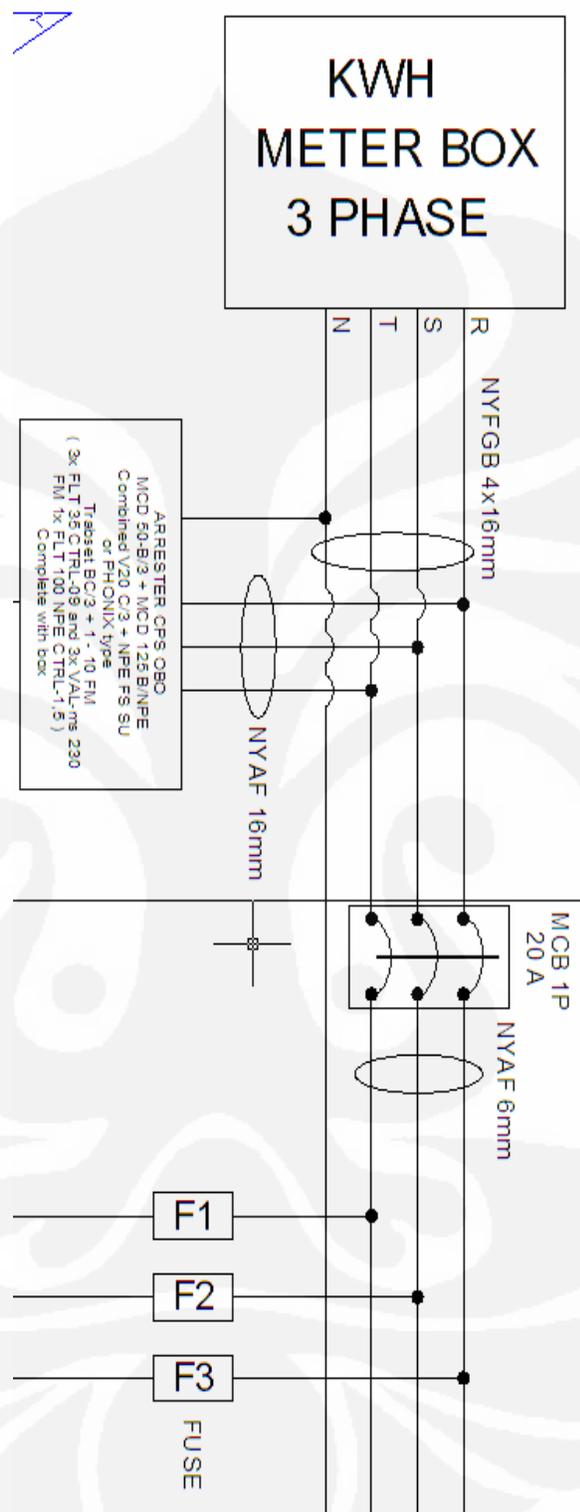


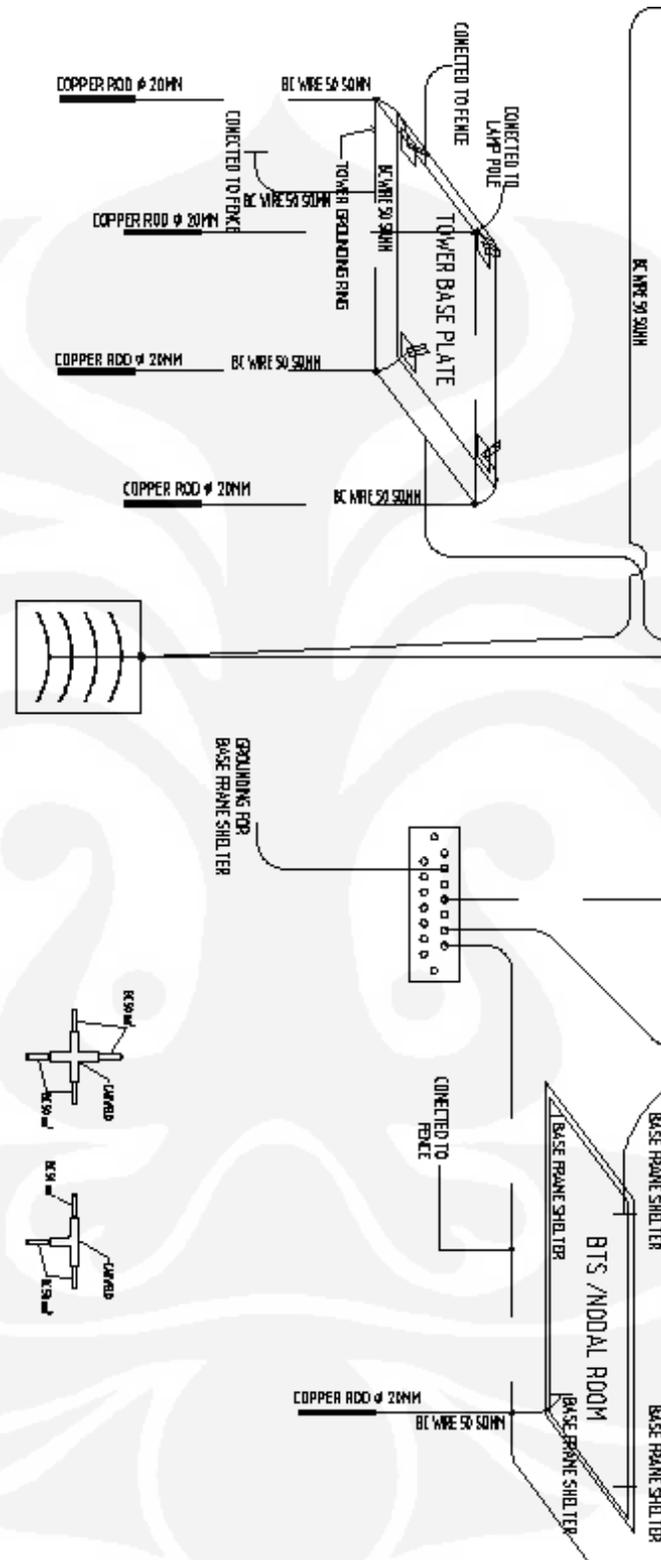
Tampak Atas Penangkal Petir pada Menara BTS





Suplai Power dari PLN pada BTS





Part 2 Bawah

Product Specifications



LDF5-75

LDF5-75, HELIAX® Low Density Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 7/8 in, black PE jacket

OBSOLETE



CHARACTERISTICS

Construction Materials

Jacket Material	PE
Outer Conductor Material	Corrugated copper
Dielectric Material	Foam PE
Flexibility	Standard
Inner Conductor Material	Copper-clad aluminum wire
Jacket Color	Black

Dimensions

Nominal Size	7/8 in
Cable Weight	0.30 lb/ft 0.45 kg/m
Diameter Over Dielectric	23.622 mm 0.930 in
Diameter Over Jacket	27.432 mm 1.080 in
Inner Conductor OD	5.588 mm 0.220 in
Outer Conductor OD	24.892 mm 0.980 in

Electrical Specifications

Cable Impedance	75 ohm \pm 3 ohm
Capacitance	15 pF/ft 50 pF/m
dc Resistance, Inner Conductor	0.340 ohms/kft 1.116 ohms/km
dc Resistance, Outer Conductor	0.360 ohms/kft 1.181 ohms/km
dc Test Voltage	6500 V
Inductance	0.285 μ H/m 0.087 μ H/ft
Insulation Resistance	100000 MOhm
Jacket Spark Test Voltage (rms)	8000 V
Operating Frequency Band	1 – 1000 MHz
Peak Power	70.0 kW

www.commscope.com/andrew

Join the Evolution

©2009 CommScope, Inc. All rights reserved.

All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change. See www.commscope.com/andrew for the most current information.

page 1 of 1
11/16/20

Product Specifications



IDFS-75

Pulse Reflection	0.5%
Velocity	89%

Environmental Specifications

Installation Temperature	-40 °C to +60 °C (-40 °F to +140 °F)
Operating Temperature	-55 °C to +85 °C (-67 °F to +185 °F)
Storage Temperature	-70 °C to +85 °C (-94 °F to +185 °F)

General Specifications

Brand	HELIAX®
-------	---------

Mechanical Specifications

Bending Moment	16.3 N-m 12.0 ft lb
Flat Plate Crush Strength	80.0 lb/in 1.4 kg/mm
Minimum Bend Radius, Multiple Bends	254.00 mm 10.00 in
Number of Bends, minimum	15
Number of Bends, typical	40
Tensile Strength	147 kg 325 lb

Standard Conditions

Attenuation, Ambient Temperature	20 °C 68 °F
Average Power, Ambient Temperature	40 °C 104 °F
Average Power, Inner Conductor Temperature	100 °C 212 °F

Attenuation

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
0.5	0.08	0.024	45.63
1	0.113	0.034	32.20
1.5	0.139	0.042	26.25
2	0.16	0.049	22.70
10	0.363	0.111	10.03
20	0.518	0.158	7.03
30	0.639	0.195	5.70
50	0.834	0.254	4.37
88	1.123	0.342	3.24
100	1.202	0.366	3.03
108	1.252	0.382	2.91
150	1.494	0.455	2.44
174	1.619	0.493	2.25
200	1.746	0.532	2.09
300	2.182	0.665	1.67
400	2.561	0.781	1.42
450	2.737	0.834	1.33
500	2.905	0.885	1.25
512	2.944	0.897	1.24
600	3.224	0.982	1.13

www.commscope.com/andrew

Join the Evolution

©2009 CommScope, Inc. All rights reserved.
All trademarks identified by ® or ™ are registered trademarks or trademarks, respectively, of CommScope. All specifications are subject to change.
See www.commscope.com/andrew for the most current information.

page 2
11/16/11

Product Specifications



IDF5-75

700	3.523	1.074	1.03
800	3.807	1.16	0.96
824	3.873	1.18	0.94
894	4.062	1.238	0.90
960	4.236	1.291	0.86
1000	4.339	1.322	0.84

Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2002/95/EC	Compliant
China RoHS SJ/T 11364-2006	Below Maximum Concentration Value (MCV)

RG 11 TRANSMISSION CABLE



CommScope 3 GHz RG11 coax cable for Satellite TV, Cable TV, TV Antenna and distribution systems. The highest quality, above ground PVC jacket, USA made 3 GHz RG11 coaxial cable available.

- Single RG11 PVC jacket coax cable for above ground use
- 14 AWG Solid CCS center conductor coax cable
- Flame retardant PVC jacket for non plenum applications
- 3 GHz Swept tested RG11 coax cable
- Qualifications: CATV, Satellite, HDTV, TV Antenna and distribution
- Highest quality USA made 3 GHz RG11 coaxial cable available

CommScope RG11 (5916) Coax Cable Specifications

Center Conductor AWG & Diameter Wire Type Nominal DCR - Ohms / 1000' / 1000 m	Dielectric Type Nom. O.D. in / mm	Shields Type & Cov. Nominal DCR kft / km	Jacket Type & Nominal O.D. in / mm	Nominal Capacitance pF/ft / pF/m	Nom. Vel. of Prop	Nom. Imp.	Nominal Attenuation MHz-dB/100'- dB/100m
14 AWG Solid CCS 15.0 / 49.2	Foam PE .280 / 7.11	AL FOIL 60% AL Braid 7.1 / 23.3	Flame Retardant PVC .030 / .76	16.2 / 53.1	82%	75	1 - 0.22 - 0.72 10 - 0.49 - 1.61 50 - 0.98 - 3.21 100 - 1.29 - 4.23 200 - 1.84 - 6.04 400 - 2.68 - 8.79 700 - 3.67 - 12.04 900 - 4.25 - 13.94 1000 - 4.52 - 14.83 1200 - 4.91 - 16.10 1450 - 5.39 - 17.68 1800 - 6.01 - 19.71 2200 - 6.64 - 21.78

TABEL_B

PT. KABELINDO MUR

BCC - H

Bare Copper Conductor Hard

**BARE CONDUCTOR****TECHNICAL DATA**SPEE
STD

Specification : SPLN 41 - 5 , SNI 04 - 3894

APL

Used for overhead transmission purpose

DIMENSIONAL DATA

Cross Section Nominal (mm ²)	Number of Core & Dia. Wire pcs / (mm)	Overall Diameter approx. (mm)	Weight of Cable approx. (kg / km)	Std. Length per reel (m)
6	1/2.80	2.80	55	10.000
10	1/3.50	3.50	86	
	7/1.35	4.05	90	
16	7/1.70	5.10	142	5.000
25	7/2.10	6.30	217	
35	7/2.50	7.50	308	
50	19/1.80	9.00	433	3.000
70	19/2.10	10.50	590	
95	19/2.50	12.50	836	
120	19/2.80	14.00	1048	2.000
150	37/2.25	15.70	1318	
185	37/2.50	17.50	1628	
240	61/2.25	20.20	2173	1.000
300	61/2.50	22.50	2883	
400	81/2.89	28.00	3588	
500	81/3.23	29.10	4479	500

ELECTRICAL & MECHANICAL DATA

Cross Section Nominal (mm ²)	Min. Calculated Breaking Load (kN)	Max. DC Resistance at 20°C (ohm / km)
6	2.70	2.8904
10	4.12	1.8565
	4.27	1.8181
16	6.78	1.1465
25	10.20	0.7512
35	14.30	0.5302
50	19.71	0.3785
70	26.82	0.2781
95	37.58	0.1963
120	46.12	0.1565
150	58.86	0.1244
185	71.80	0.1008
240	96.70	0.0755
300	118.04	0.0611
400	157.74	0.0458
500	194.34	0.0367

