



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA EFEK TEGANGAN INDUKSI KARENA
SAMBARAN PETIR PADA AREA OPERASIONAL PT. X**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana

JEFANYA GINTING

0906602755

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK ELEKTRO**

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : JEFANYA GINTING

NPM : 0906602755

Tanda Tangan : 

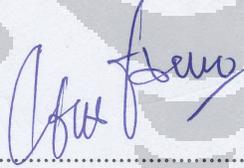
Tanggal : 11 Januari 2012

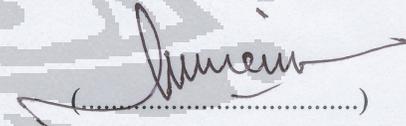
HALAMAN PENGESAHAN

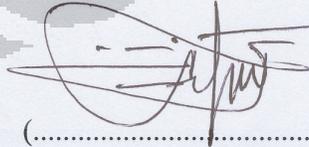
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Jefanya Ginting
NPM : 0906602755
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran
Petir pada Area Operasional PT. X

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 : Ir. Agus R Utomo, MT (.....)

Penguji : Ir. Amien Rahardjo, MT (.....)

Penguji : Dr. Ir. Ridwan Gunawan, MT (.....)

Ditetapkan di : Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Tanggal : 11 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, karena atas berkat rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka persyaratan tahap awal penyelesaian skripsi. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Ir. Agus R. Utomo, MT. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; serta
- (3) sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu dan bisa dikembangkan dimasa yang akan datang.

Depok, 11 Januari 2012

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademis Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Jefanya Ginting
NPM : 0906602755
Fakultas / Program Studi : Teknik / Listrik
Departemen : Teknik Elektro
Jenis karya : Skripsi

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:

Analisa Efek Tegangan Induksi Karena Sambaran Petir pada Area Operasional PT. X

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 mempublikasikan tugas akhir 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 : 11 Januari 2012

Yang menyatakan



(Jefanya Ginting)

ABSTRAK

Nama : Jefanya Ginting
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Analisa Gangguan Induksi Karena Sambaran Petir pada Area Operasional PT. X

Sistem informasi pada suatu industri sangat dibutuhkan kehandalannya untuk menjaga keberlangsungan proses bisnis perusahaan itu. Untuk proses informasi tersebut menggunakan alat-alat elektronik yang bekerja pada range millivolt. Karenanya dibutuhkan pengaman gedung beserta peralatan terutama peralatan elektronik yang bekerja dalam range milivolt dari efek sambaran petir yang bekerja dalam range kilovolt sangatlah penting.

Sistem informasi pada industri PT. X yang berlokasi di Kawasan Industri MM2100 Cibitung – Bekasi Jawa Barat dalam kurun waktu 5 tahun terakhir mengalami gangguan kerusakan peralatan elektronik akibat sambaran petir. Penangkal petir dan sistem proteksi berupa sistem pentanahan kurang memadai untuk melindungi peralatan elektronik dari bahaya sambaran petir.

Berdasarkan data, hasil pengukuran dan perhitungan kondisi aktual maka ditemukan tegangan langkah dan resistansi tanah yang melebihi dari nilai standar.

Kata kunci : Gangguan petir, penangkal petir, *grounding system resistance*, tegangan langkah, tegangan induksi.

ABSTRACT

Name : Jefanya Ginting

Studi Program : Electrical Engineering

Title : Analysis of the effect of Induction Voltage due to Lightning in the operational Area, PT. X

Information systems on an industry badly needed to maintain the continuity of the process of establishment of business company. To process such information using electronic tools which work in the millivolt range. Hence the need for building safety and equipment mainly electronic equipment that works in a range from the effects of lightning milivolt who worked in the kilovolt range is important.

Information system on industrial PT. X located in an industrial area MM2100 Cibitung - Bekasi in West Java in a span of 5 years experience in electronic equipment damage due to lightning strikes. Lightning rods and grounding protection system of the system is less adequate to protect electronic equipment from the danger of lightning strikes.

Based on data, measurement and calculation of results and the actual condition of the voltage step and then discovered resitansce land in excess of the value of the standard.

Key words: Intrusion of lightning, lightning rods, grounding resistance, voltage step system, induced voltage.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Metodologi.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
2. IMPULS PETIR.....	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Mekanisme Terjadinya Petir.....	5
2.3 Macam-macam Petir	7
2.3.1 Berdasarkan Polaritas Muatan.....	8
2.3.2 Berdasarkan Arah Sambaran.....	9
2.3.3 Berdasarkan jenis sambaran	10
2.4 Parameter-parameter petir	11
2.4.1 Bentuk gelombang arus petir.....	11
2.4.2 Kerapatan sambaran petir.....	12
2.4.3 Arus puncak (I_{max}).....	12
2.4.4 Kecuraman gelombang (<i>stepness</i>).....	14
3. SISTEM PROTEKSI PETIR.....	15
3.1 Umum	15
3.2 Sistem proteksi petir.....	15
3.3 Hasil guruh	18

3.4	Proteksi terhadap petir.....	18
3.4.1	Penangkal petir konvensional.....	19
3.4.2	Penangkal petir elektrostatik.....	19
3.4.3	<i>Dissipation array system (lightning preventor)</i>	20
3.5	Proteksi terhadap tegangan lebih petir	22
4.	PROTEKSI BANGUNAN PETIR TERHADAP SAMBARAN PETIR	23
4.1	Umum	23
4.2	Beberapa kebutuhan bangunan terhadap sistem proteksi petir.....	24
4.3	Prinsip proteksi terhadap sambaran petir dengan menggunakan <i>lightning conductor</i>	25
4.4	Zona proteksi <i>lightning conductor</i>	26
4.5	Rancangan sistem terminasi udara menurut SNI 03-7015-2004	28
4.5.1	Metode sudut proteksi (<i>Angle protection method</i>)	29
4.5.2	Metode bola bergulir (<i>Rolling Sphere Method</i>)	31
4.5.3	Metode jala (<i>Meshed Sized Method</i>).....	33
4.6	Konduktor penyalur (<i>down conductor</i>).....	34
4.7	Sistem terminasi bumi (<i>grounding system</i>)	35
4.8	Pemilihan bahan.....	38
5.	ANALISA BAHAYA PETIR PADA MENARA IT.....	40
5.1	Umum	40
5.2	Operasional sistem pengiriman data elektronik.....	40
5.3	Kemungkinan orang berada di tempat kerja.....	44
5.4	Analisa efek tegangan petir pada sekitar menara IT	45
5.5	Beban tegangan langkah dan tegangan sentuh	47
5.6	Efek tegangan induksi sambaran tidak langsung pada penangkal petir.....	51
5.6.1	Perhitungan sambaran langsung pada penangkal petir	52
5.6.2	Perhitungan tegangan induksi sambaran petir tidak langsung pada jarak tertentu.....	53
5.7	Algoritma prosedur analisa dan pengukuran	61
6.	KESIMPULAN.....	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur muatan listrik awan guruh	4
Gambar 2.2 Tahapan proses sambaran petir	6
Gambar 2.3 Polaritas muatan petir pada sambaran ke tanah	8
Gambar 2.4 Tipikal arah sambaran petir.....	9
Gambar 2.5 Jenis-jenis sambaran petir	10
Gambar 2.6 Osilogram bentuk gelombang arus petir	11
Gambar 2.7 Bentuk gelombang impuls petir standar	12
Gambar 2.8 Hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir negatif sambaran ganda	13
Gambar 2.9 Konsep jarak sambaran.....	13
Gambar 3.1 Konsep proteksi petir sistem disipasi (DAS)	16
Gambar 3.2 Penangkal petir konvensional.....	19
Gambar 3.3 Konstruksi salah satu dari jenis elektrostatis	20
Gambar 3.4 <i>Dissipation Array System</i>	21
Gambar 4.1 Peta distribusi petir di dunia.....	24
Gambar 4.2 Prinsip proteksi terhadap sambaran petir dengan menggunakan <i>lightning conductor</i>	25
Gambar 4.3 Beberapa teori tentang zona proteksi <i>lightning conductor</i>	27
Gambar 4.4 Daerah proteksi tampak depan dan samping.....	30
Gambar 4.5 Daerah proteksi tampak atas	31
Gambar 4.6. Daerah proteksi dengan metode bola bergulir.....	32
Gambar 4.7 Daerah proteksi dengan metode jala.....	33
Gambar 5.1 Single line diagram ruang shelter PT. X.....	41
Gambar 5.2 Posisi menara IT tampak depan.....	42
Gambar 5.3 Sistem grounding penangkal petir dan peralatan elektronik.....	43
Gambar 5.4 Bentuk gelombang impuls petir	45
Gambar 5.5 Fenomena tegangan langkah dan tegangan sentuh.....	48
Gambar 5.6 Ekuivalen rangkaian efek sambaran langsung penangkal petir	52
Gambar 5.7 Ekuivalen rangkaian tegangan induksi dari penangkal petir	54
Gambar 5.8 Sebaran tegangan induksi disekitar menara IT	58

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan terminasi udara	29
Tabel 4.2 Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan konduktor penyalur.....	34
Tabel 4.3 Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan terminasi bumi.....	38
Tabel 4.4 Bahan SPP dan kondisi penggunaan	38
Tabel 5.1 Hasil monitoring grounding sistem penangkal petir dan <i>flash counter</i>	44
Tabel 5.2 Hasil perhitungan besar tegangan langkah akibat gangguan petir.....	51
Tabel 5.3 Penghitungan tegangan induksi	55



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sebagaimana diketahui bahwa Indonesia merupakan daerah tropik dimana hari guruh per tahun relatif lebih tinggi dibandingkan dengan negara lain seperti di Amerika dan Eropa (Syakur & Sukmadi, 2002:2). Menurut Badan Meteorologi dan Geofisika tingkat hari guruh per tahun adalah 25 sampai 200. Kisaran ini menunjukkan adanya kecenderungan jumlah sambaran petir yang tinggi.

Petir terjadi berawal dari proses fisika dimana terjadi pengumpulan muatan-muatan listrik di awan. Dalam keadaan normal, pada atmosfer bumi terdapat ion positif dan ion negatif yang tersebar acak. Bersamaan terjadinya pengumpulan muatan, pada awan timbul medan listrik yang intensitasnya semakin besar dan akibatnya gerakan kebawah butir-butir air menjadi terhambat dan terhenti. Akibatnya terbentuk medan listrik antara awan dengan permukaan bumi. Apabila medan listrik ini melebihi kekuatan tembus udara terjadilah pelepasan muatan. Distribusi muatan diawan, pada umumnya dibagian atas dimuati muatan positif, sementara itu pada bagian bawah awan ditempati oleh muatan negatif. Sambaran akan diawali oleh kanal muatan negatif, menuju ke daerah yang terinduksi positif, umumnya sambaran yang terjadi adalah sambaran muatan negatif dari awan ketanah (Suzuki, 1981:5). Polaritas awan tidak hanya berpengaruh pada arah sambaran, tetapi juga berpengaruh pada besar arus sambaran (Zoro, 1996:2).

Surja petir dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tegangan rendah dan peralatan elektrik tegangan rendah dengan beberapa mekanisme. Mekanisme *pertama* melalui sambaran langsung petir pada jaringan tegangan rendah. Hal ini jarang terjadi karena biasanya terlindung oleh pohon atau bangunan sekitarnya. Mekanisme *kedua* adalah sambaran petir yang tidak langsung mengenai jaringan tegangan rendah tapi petir menyambar pohon ataupun tanah disekitar jaringan tegangan rendah. Sambaran tidak langsung ini menyebabkan kopleng

elektromagnetik antara jaringan dan sambaran petir sehingga mengakibatkan tegangan induksi pada jaringan. Pada jaringan tegangan rendah, penyebab terbesar tegangan lebih adalah sambaran tidak langsung petir. Mekanisme sambaran tidak langsung ini juga dapat menimbulkan kerusakan pada arrester, peralatan elektronik tegangan rendah, dan gangguan operasi sistem tenaga listrik. Mekanisme sambaran langsung petir pada jaringan jarang terjadi, tapi dapat menyebabkan kerusakan yang lebih besar pada jaringan dan instalasi peralatan listrik. Selain kerusakan materil yang disebabkan oleh sambaran petir, maka keselamatan manusia yang beraktivitas di area tersebut juga sangat perlu diperhatikan

Dalam suatu perusahaan sistem operasional pengiriman data elektronik sangatlah penting. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas suatu proses bisnis yang dilaksanakan oleh perusahaan tersebut. Produktivitas produksi harus didukung dengan kehandalan perangkat telekomunikasi pengiriman data maupun suara. Celaknya suatu perusahaan bilamana perangkat telekomunikasi tersebut rusak diakibatkan sambaran petir, sehingga diperlukan suatu proteksi pada peralatan tersebut. Berdasarkan data dari PT. X sistem proteksi tersebut sudah terpasang dengan baik, namun dalam kurun waktu tahun 2007 s/d 2011 masih terdapat 2 kali kerusakan akibat sambaran petir dan menimbulkan kerugian secara langsung maupun tidak langsung. Dengan latar belakang permasalahan tersebut maka skripsi ini diberi judul :

“ANALISA EFEK TEGANGAN INDUKSI KARENA SAMBARAN PETIR PADA AREA OPERASIONAL PT. X”

I.2 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini adalah :

1. Menghitung efek tegangan induksi akibat sambaran petir pada menara IT.
2. Mengetahui jarak sambaran petir
3. Mengetahui probabilitas bahaya petir disekitar menara IT

I.3 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan diatas maka pembahasan penulisan skripsi ini dibatasi pada dampak tegangan dari penangkal petir yang terpasang pada menara IT. Sistem proteksi yang dibahas disini termasuk sistem penyalur petir yang tersedia, sistem grounding yang telah terpasang dan pengamanan dari sambaran petir terhadap aktivitas manusia di area menara IT. Supaya terarah dan tidak keluar dari permasalahan pokok.

I.4 Metodologi

Berbagai metode yang digunakan untuk menyusun skripsi ini adalah :

1. Metode Observasi

Yaitu meninjau informasi yang ada mengenai skripsi yang dibuat secara langsung, yang berhubungan dengan kegiatan yang dilaksanakan.

2. Metode Kepustakaan

Yaitu pengumpulan data-data referensi yang berhubungan dengan pembuatan skripsi ini.

3. Metode Konsultasi dan Diskusi

Yaitu mendiskusikan dan berkonsultasi langsung dengan dosen pembimbing dan juga pihak lainnya yang kompeten dibidangnya.

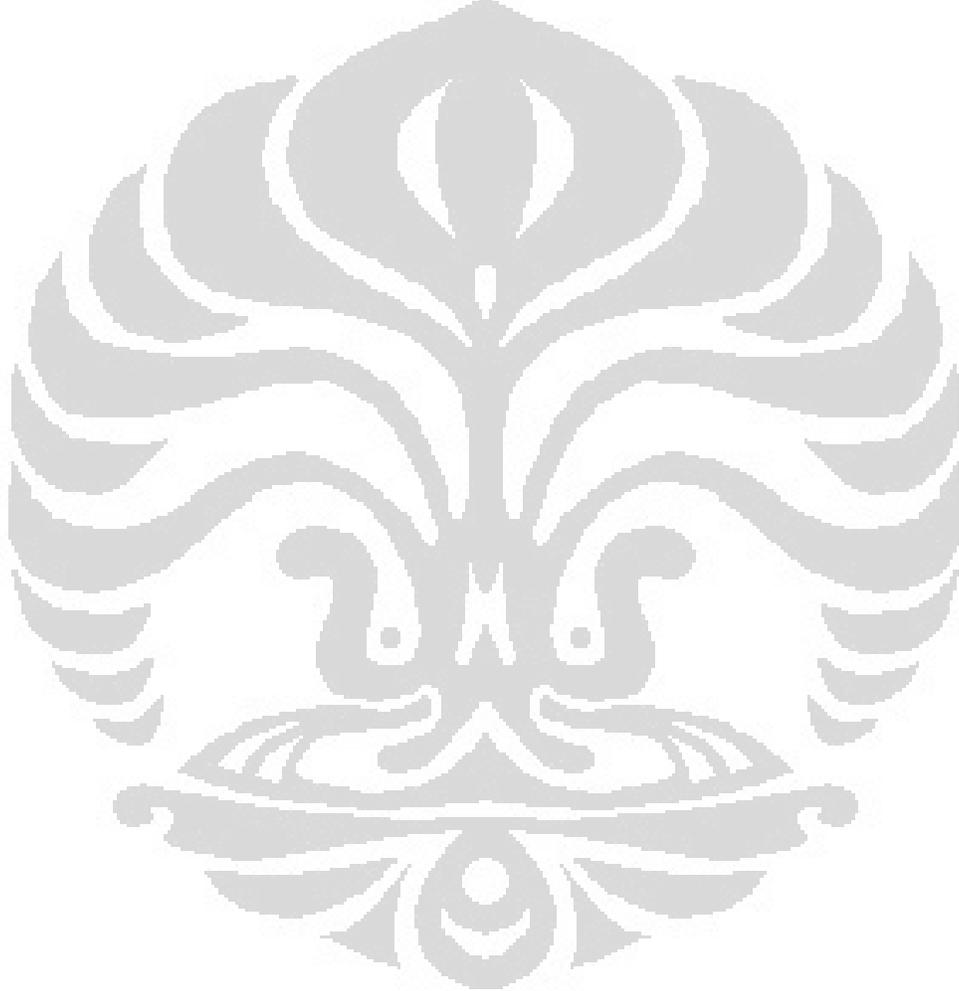
4. Metode Pengujian

Menguji sistem yang tersedia dengan melakukan percobaan tertentu sesuai dengan tujuannya dan mendapatkan data-data hasil percobaan untuk dianalisis.

I.5 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah penulisan maka sistematika yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini dibagi dalam beberapa bab agar pembahasan yang diberikan mudah dipahami dan sistematis. Pada Bab I adalah pendahuluan yang berisikan latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan. Pada Bab II adalah impuls petir yang menerangkan tentang teori dasar yang digunakan, baik secara umum maupun khusus yang menunjang

pembuatan skripsi ini. Pada Bab III adalah karakteristik sistem proteksi pada tower IT terhadap sambaran petir termasuk sistem grounding dan alat penyalur petir itu sendiri. Pada Bab IV adalah membahas proteksi bangunan tinggi terhadap sambaran petir secara umum sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Pada Bab V adalah analisa data dan menganalisa dari hasil pengukuran yang berkaitan dengan tujuan yang ingin dicapai. Pada Bab V adalah penutup yang terdapat kesimpulan yang didapat dari pembahasan skripsi ini.

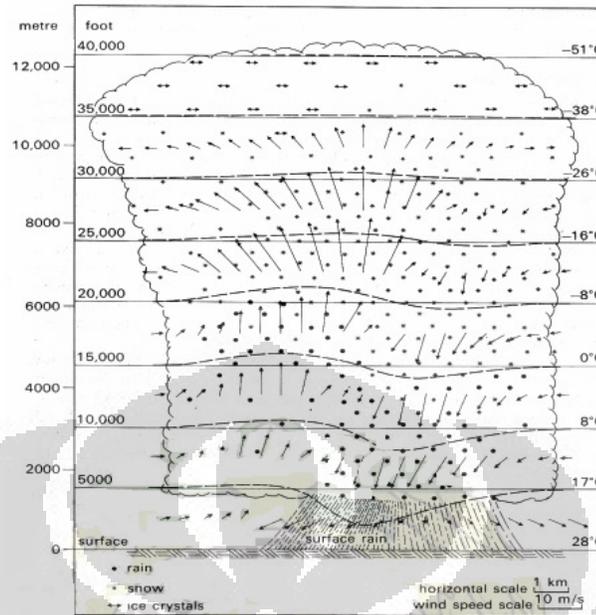


BAB II

IMPULS PETIR

II.1 Umum

Petir merupakan peristiwa pelepasan listrik antara suatu awan bermuatan dengan bumi, atau antara awan bermuatan dengan awan bermuatan lainnya. Dalam peristiwa ini, jarak antara awan ke awan atau awan ke bumi relatif cukup tinggi dan dapat diasumsikan sebagai jarak antar elektroda. Sumber terjadinya petir adalah awan *cumulonimbus* atau awan guruh yang berbentuk gumpalan dengan ukuran vertikal lebih besar dari ukuran horizontal. Ukuran vertikal dapat mencapai 14 km dan ukuran horizontal berkisar 1,5 sampai 7,5 km. Karena ukuran vertikalnya yang cukup besar terjadi perbedaan temperatur antara bagian bawah dengan bagian atas. Bagian bawah bisa mencapai 5°C sedangkan bagian atas -60°C. Loncatan diawali dengan berkumpulnya uap air di dalam awan. Karena perbedaan temperatur yang besar antara bagian bawah awan dengan bagian yang lebih diatas, butiran air bagian bawah yang temperaturnya lebih hangat berusaha berpindah ke bagian atas sehingga mengalami pendinginan dan membentuk kristal es. Butir air yang bergerak naik membawa muatan positif sedangkan kristal es membawa muatan negatif sehingga terbentuk awan yang mirip dengan dipole listrik. Pada saat tegangan antara ujung awan sudah cukup besar terjadilah pelepasan muatan listrik. Struktur listrik awan guruh dinyatakan dalam gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 Struktur muatan listrik awan guruh

II. 2 Mekanisme Terjadinya Petir

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan atau pengumpulan muatan diawan begitu banyak dan tak pasti. Tekanan atmosfer akan menentukan dengan makin bertambahnya ketinggian suatu tempat dari permukaan horizontal. Pergerakan udara (sering disebut angin) ini akan membawa udara lembab ke atas, kemudian udara lembab ini mengalami kondensasi menjadi uap air, lalu berkumpul menjadi titik-titik air yang pada akhirnya membentuk awan.

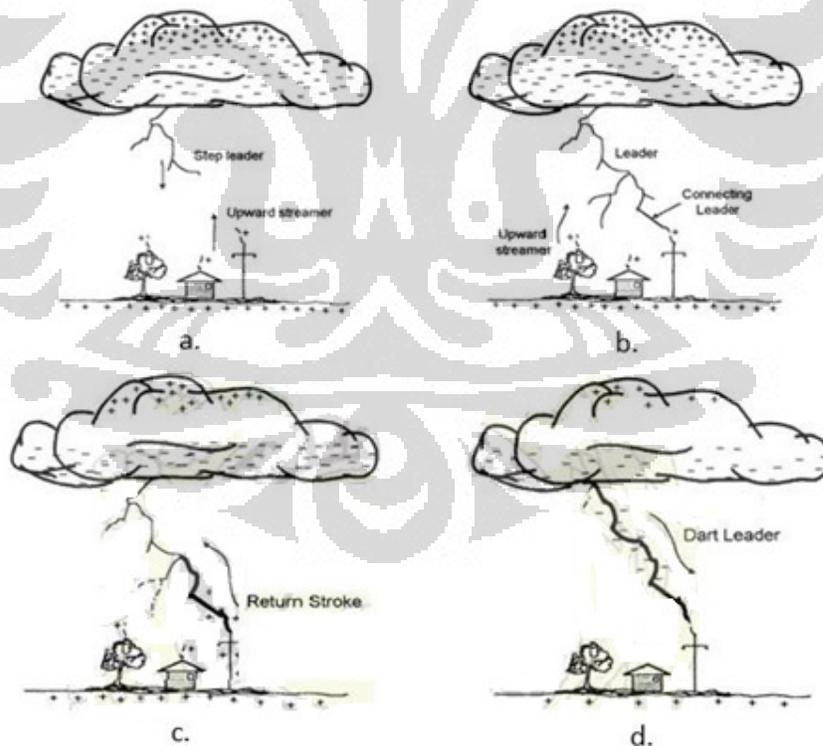
Angin kencang yang meniup awan akan membuat awan mengalami pergeseran secara horizontal maupun vertikal. Ditambah dengan benturan antara titik-titik air yang dalam awan tersebut dengan partikel-partikel udara, yang dapat memungkinkan terjadinya pemisahan muatan listrik didalam awan tersebut. Butiran air yang bermuatan positif, biasanya berada bagian atas dan yang bermuatan negatif dibagian bawah. Dengan adanya awan yang bermuatan maka akan timbul muatan induksi pada permukaan bumi sehingga menimbulkan medan listrik antara bumi dengan awan.

Mengingat dimensinya, bumi dianggap rata terhadap awan sehingga bumi dengan awan dapat dianggap sebagai dua plat sejajar membentuk kapasitor. Jika

medan listrik yang terjadi melebihi medan tembus udara, maka akan terjadi pelepasan muatan. Terjadinya pelepasan udara inilah yang disebut sebagai petir.

Setelah adanya peluahan diudara sekitar awan bermuatan yang medan listriknya cukup tinggi, terbentuk peluahan awal yang biasa disebut *pilot leader*. *Pilot leader* ini menentukan arah perambatan muatan dari awan ke udara, diikuti dengan titik-titik cahaya.

Setiap sambaran petir bermula dari suatu lidah petir (*leader*) yang bergerak turun dari awan bermuatan dan disebut *downward leader* (lihat Gambar 2.2.a). *Downward leader* ini bergerak menuju bumi dalam bentuk langkah-langkah yang disebut *step leader*. Pergerakan *step leader* ini arahnya selalu berubah-ubah sehingga secara keseluruhan jalannya tidak ada yang patah-patah. Panjang setiap *step leader* ini sekitar 50 m (dalam rentang 3-200 m), dan interval waktu antara setiap step $\pm 50 \mu\text{s}$ (30-125 μs). Dari waktu ke waktu, dalam perambatannya ini *step leader* mengalami percabangan sehingga terbentuk lidah petir yang bercabang-cabang.



Gambar 2.2 Tahapan proses sambaran petir

Ketika *leader* bergerak mendekati bumi, akan ada beda potensial yang makin tinggi antara ujung *step leader* dengan bumi sehingga terbentuk peluahan mula yang disebut *upward streamer* pada permukaan bumi atau objek akan bergerak ke atas menuju ujung *step leader*. Apabila *upward leader* telah masuk dalam zona jarak sambaran atau *striking distance*, terbentuk petir penghubung (*connecting leader*) yang menghubungkan ujung *step leader* dengan objek yang disambar (Gambar 2.2b). Setelah itu akan timbul sambaran balik (*return stroke*) yang bercahaya sangat terang bergerak dari bumi atau objek menuju awan dan melepas muatan diawan (Gambar 2.2c).

Jalan yang ditempuh oleh *return stroke* sama dengan jalan turunnya *step leader*, hanya arahnya yang berbeda. Kemudian terjadi sambaran susulan (*subsequent stroke*) dari awan menuju bumi atau objek tersebut. Sambaran susulan ini tidak memiliki percabangan dan biasa disebut sebagai lidah panah atau *dart leader* (Gambar 2.2.d). Pergerakan *dart leader* ini sekitar 10 kali lebih cepat dari *leader* yang pertama (sambaran pertama atau *first stroke*).

Pada umumnya, hampir separuh ($\pm 55\%$) dari peristiwa kilat petir (*lightning flash*) merupakan sambaran ganda seperti tersebut diatas, dengan jumlah sambaran sekitar 3 atau 4 sambaran tiap kilat (bisa juga lebih), diantaranya 90 % tidak lebih dari 8 sambaran, interval waktu setiap sambaran kurang dari 50 ms.

II.3 Macam-macam petir

Telah disebutkan sebelumnya bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi labilitas dalam atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda.

Misalnya, muatan yang terjadi tidak terpisah secara horizontal sehingga menimbulkan pelepasan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah peluahan atau petirnya juga terbalik.

Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu sebagai berikut :

Berdasarkan polaritas muatan :

- ⇒ Muatan positif
- ⇒ Muatan negatif

Berdasarkan arah sambaran :

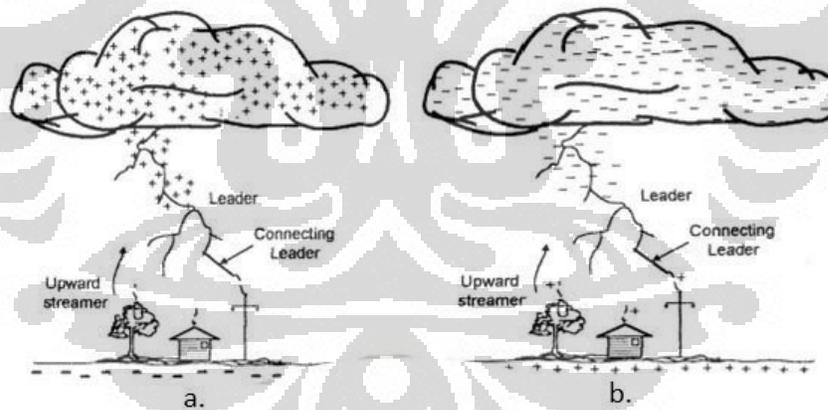
- ⇒ Arah kebawah (bumi atau objek), disebut *downward lightning*
- ⇒ Arah keatas (awan), disebut *upward lightning*

Berdasarkan jenis sambaran :

- ⇒ Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*)
- ⇒ Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*)
- ⇒ Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*)

II.3.1 Berdasarkan polaritas muatan

Polaritas petir, baik itu positif maupun negatif ditentukan oleh muatannya. Petir dikatakan bermuatan positif jika *pilot leader* yang membentuk *step leader* bermula dari awan bermuatan negatif maka petirnya dikatakan bermuatan negatif (Gambar 2.3.b).



Gambar 2.3 Polaritas muatan petir pada sambaran ke tanah

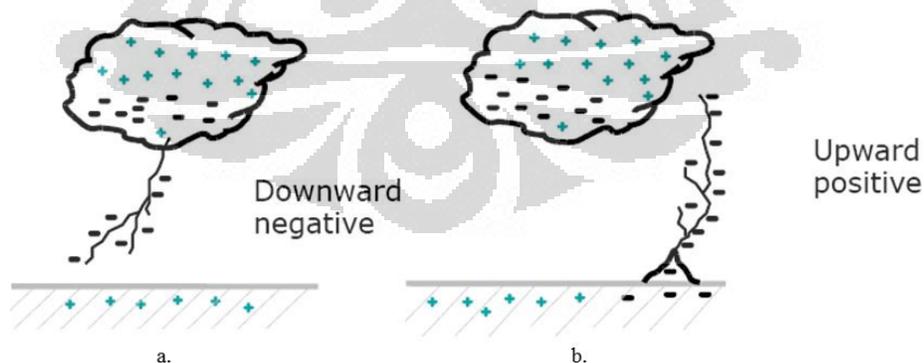
Polaritas petir tidak selalu berpengaruh menentukan arah perambatan petir. Polaritas petir paling berpengaruh pada daya rusak yang dihasilkannya, dalam hubungannya dengan besaran arus petir dan bentuk gelombangnya. Sebab pada umumnya, besaran arus pada petir dengan polaritas positif lebih besar dibandingkan pada petir polaritas negatif. Selain itu, bentuk gelombang arus petir

dengan polaritas negatif, berbeda-beda antara sambaran pertama (*first stroke*) dengan sambaran susulannya (*subsequent stroke*).

Selain perbedaan dalam hal karakteristik besaran arus dan bentuk gelombangnya, petir polaritas positif dan polaritas negatif juga berbeda dalam persentase kemungkinan kejadiannya. Hanya sekitar 10% dari sambaran petir yang terjadi berpolaritas positif, selebihnya adalah petir negatif. Probabilitas kejadian petir positif akan meningkat dengan bertambahnya ketinggian suatu tempat atau objek di bumi. Lebih jauh lagi, *R.B. Anderson* menyatakan bahwa mayoritas petir positif “lebih sering atau menyukai *single stroke*”, sehingga untuk tujuan dan penelitian petir positif sering dinyatakan (diasumsikan) sebagai sambaran tunggal.

II.3.2 Berdasarkan arah sambaran

Jika melihat kembali ke mekanisme terjadinya petir, maka akan terlihat bahwa untuk setiap satu kejadian kilat petir dengan beberapa sambaran, mengalami arah peluahan kebawah (bumi) dan keatas (awan) sekaligus secara bergantian. Maka untuk mendefinisikan arah sambaran ini, sebagai acuan adalah arah mula terjadinya peluahan petir (asal *pilot leader*). Apabila *pilot leader* bermula dari atas (awan), maka disebut petir kebawah atau disebut juga *downward lightning*, dan jika sebaliknya maka disebut keatas atau *upward lightning*.



Gambar 2.4 Tipikal arah sambaran petir

(a) *Downward lightning*

(b) *Upward lightning*

Perbedaan antara *upward lightning* dengan *downward lightning*, selain dari arah sambarannya adalah pada probabilitas kejadian dan tipikal sambarannya. *Upward lightning* memiliki sambaran yang cabang-cabangnya cenderung sedikit, kebalikan dari *downward lightning* yang percabangan sambarannya cenderung banyak. Selain itu *upward lightning* sangat jarang terjadi, sehingga kasus ini dianggap sebagai kasus khusus. Dari beberapa referensi yang ada belum ada satupun yang memberikan angka perkiraan mengenai probabilitas kejadian *upward lightning* di dunia.

Upward lightning hanya terjadi pada objek yang memiliki ketinggian cukup lumayan. Hasil obserbasi menunjukkan bahwa dari peristiwa-peristiwa *upward lightning*, sekitar 80 – 90 % terjadi pada objek dengan ketinggian 400 – 500 m dari permukaan bumi.

II.3.3 Berdasarkan jenis sambaran

Kondisi pada saat pemisahan muatan merupakan faktor penentu dari proses kejadian petir berdasarkan jenis sambaran ini. Ada tiga (3) jenis sambaran petir, yang dapat diperlihatkan pada Gambar 2.5.

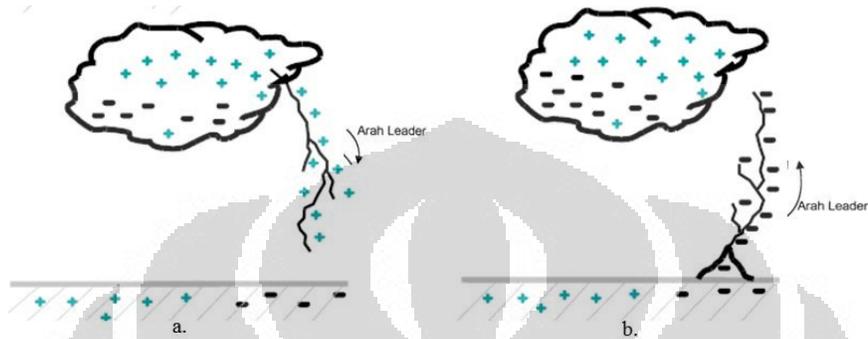
Sambaran petir ke tanah (*cloud to ground lightning*) merupakan bentuk sambaran petir yang paling merusak dan bercahaya. Oleh karena itu, meskipun sambaran petir jenis ini bukan merupakan yang paling umum terjadi, namun paling penting untuk diteliti dan dikaji karakteristiknya dalam rangka melindungi diri dan lingkungan kita dari sambaran petir ini.

Sambaran petir dalam awan (*intra cloud lightning*) adalah jenis yang paling sering terjadi. Petir jenis ini terjadi antara muatan yang berlawanan dalam satu awan yang sama. Prosesnya terjadi diawan dan terlihat dari luar awan seperti kejapan cahaya terang yang menyambar. Akan tetapi, kilatan cahayanya juga bisa keluar dari batas-batas awan itu sendiri, dan membentuk kanal cahaya serupa dengan sambaran ke tanah.

Perbandingan antara *cloud to ground* dengan *intra cloud lightning* dapat bervariasi secara signifikan antara satu badai dengan badai yang lainnya. Beberapa anggapan (usulan) menyatakan bahwa variasi ini mempunyai

ketergantungan atau korelasi terhadap latitude, dengan persentase kejadian lebih besar untuk kejadian *cloud to ground* pada latitude yang lebih tinggi.

Sedangkan sambaran petir antar awan (*inter cloud lightning*) adalah petir yang terjadi diantara pusat muatan yang berlawanan pada dua awan berbeda.



Gambar 2.5 Jenis-jenis sambaran petir

- (a). Dalam awan (*intra cloud*)
- (b). Antar awan (*inter cloud*)
- (c). Awan ke bumi (*cloud to ground*)

I.4 Parameter – parameter petir

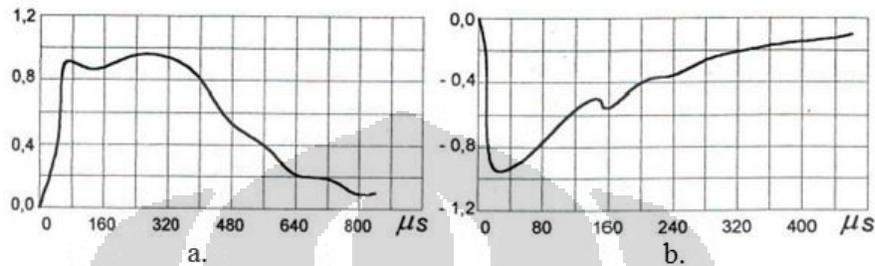
Parameter petir menyatakan karakteristik atau penggambaran petir itu sendiri. Parameter-parameter petir cukup banyak, terutama yang berkaitan dengan usaha-usaha proteksi petir. Selain itu, parameter petir ini juga berguna dalam studi efek perusakan akibat sambaran petir dan kemungkinan pemanfaatannya. Parameter-parameter tersebut antara lain : bentuk gelombang petir, kerapatan sambaran (N_g), arus puncak (I_{max}), kecuraman gelombang atau *steepness* (di/dt).

II.4.1 Bentuk gelombang arus petir

Bentuk gelombang arus petir ini menggambarkan besar arus, kecuraman (kenaikan arus), serta lamanya kejadian (durasi gelombang), dinyatakan oleh waktu ekor.

Pada kenyataannya, bentuk gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya. Bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian

lainnya, akan tetapi pada satu kejadian kilat dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bisa berbeda cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran susulan. Kejadian terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada subsequent stroke-nya.



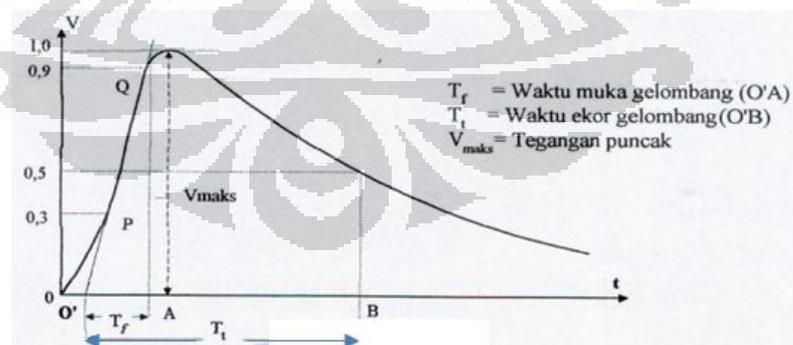
Gambar 2.6 Osilogram bentuk gelombang arus petir

(a) Petir positif

(b) Petir negatif

Karena ada perbedaan tersebut, maka bentuk standar gelombang arus petir berbeda beda untuk suatu negara atau lembaga, misalnya standar Jepang (JIS), atau Jerman (VDE), Inggris (BS) dan sebagainya. Untuk internasional biasanya mengacu pada IEC.

Bentuk gelombang arus petir dinyatakan dalam dua besaran yakni, waktu muka (T_f) yang menyatakan lamanya muka gelombang (*front duration*) dan kecuraman arus, serta waktu ekor (T_t).



Gambar 2.7 Bentuk gelombang impuls petir standar

II.4.2 Kerapatan sambaran petir (N_g)

Parameter ini menyatakan banyaknya aktifitas petir atau sambaran petir ke bumi dalam rentang satu tahun disuatu wilayah, dinyatakan dalam sambaran per km^2 per tahun. Jumlah sambaran kilat ini sebanding dengan jumlah hari guruh per tahun atau biasa disebut *Iso Keraunic Level* (IKL).

Banyak peneliti yang memberikan perhatian kearah ini dan mengemukakan rumus-rumus yang berlainan. Untuk Indonesia, T.S. Hutaeruk memberikan usulan kerapan sambaran petir adalah sebesar (Sori Akhar H, p. 29) :

$$N_g = 0,15 \text{ IKL} \dots\dots\dots(1)$$

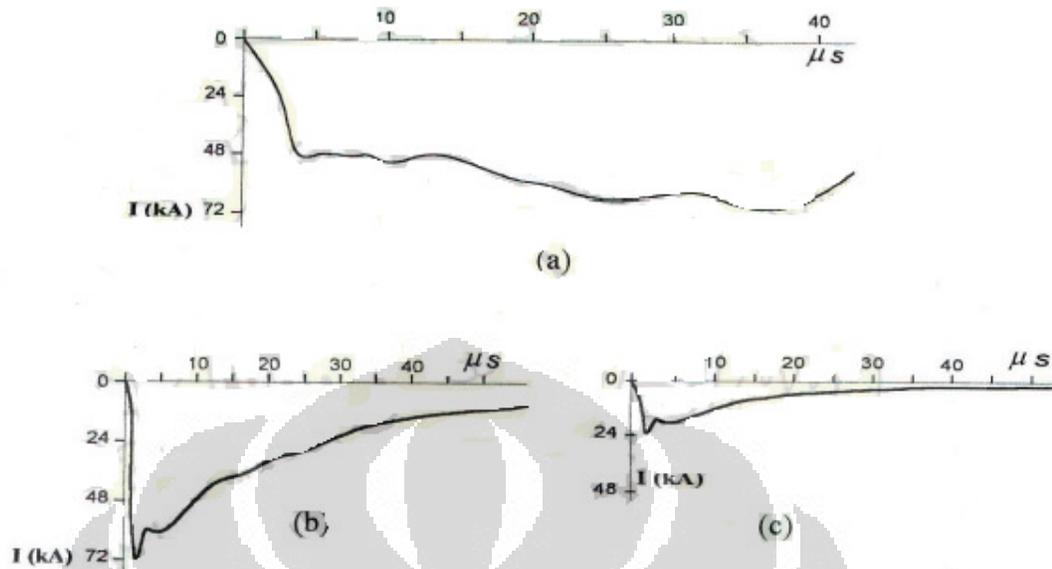
Dimana :

N_g : Kerapatan sambaran petir

IKL : Indeks iso keraunic level (IKL)

II.4.3 Arus puncak (I_{max})

Parameter arus puncak ini menentukan jatuh tegangan resistif pada tahanan pentanahan dan tahanan peralatan yang terkena sambaran. Selain itu juga, ikut menentukan kenaikan temperatur pada peralatan yang disambar. Biasanya, nilai arus puncak ini yang digunakan dalam menyatakan suatu gelombang impuls petir, bersama-sama dengan dua besarsan gelombang sebelumnya yaitu waktu muka (T_f) dan waktu ekor (T_t).



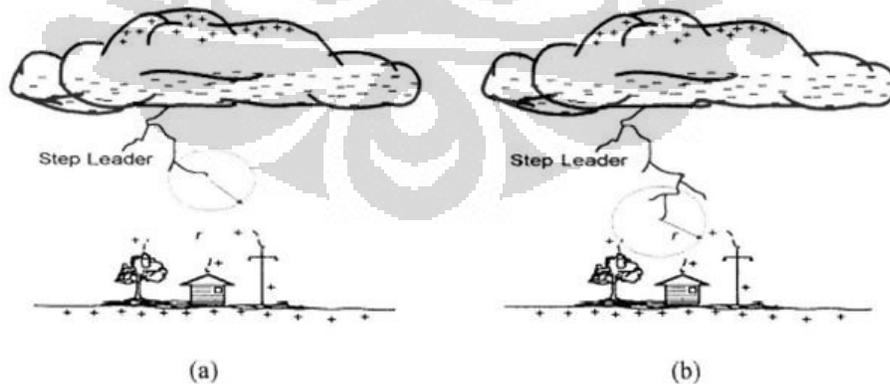
Gambar 2.8 Hasil pengukuran bentuk gelombang arus petir negatif sambaran ganda

- (a) Sambaran pertama
- (b) Sambaran kedua
- (c) Sambaran ketiga

Menurut *Whitehead*, arus puncak ini menentukan jarak sambaran petir (*striking distance*), yang diekspresikan dengan persamaan :

$$r = 8,0 \cdot I_{max}^{0,65} \text{ (meter)} \dots\dots\dots (2)$$

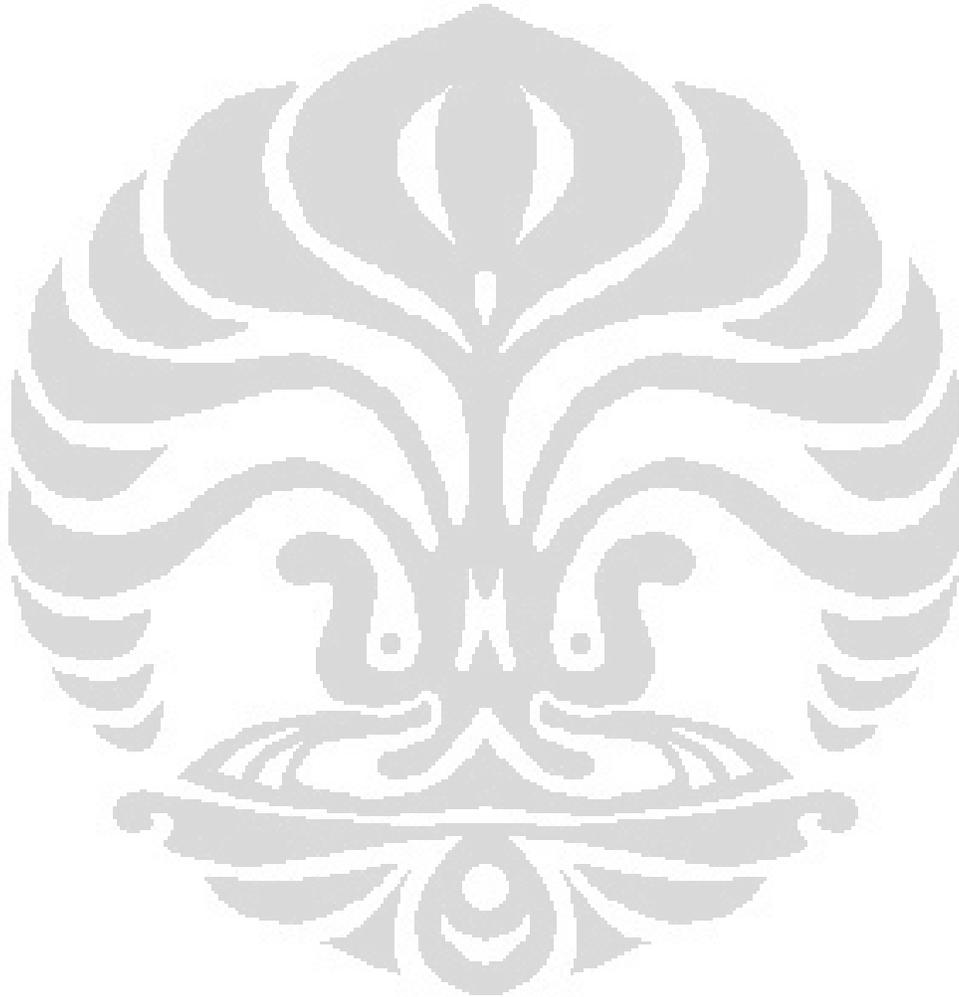
dimana I_{max} dalam kA.



Gambar 2.9 Konsep jarak sambaran

II.4.4 Kecuraman gelombang (*steepness*)

Kecuraman gelombang merupakan salah satu parameter paling penting. Parameter ini menyatakan kecepatan kenaikan arus petir dalam setiap satuan waktu (di/dt). Semakin besar nilai arus dalam setiap satuan waktu, berarti semakin curam bentuk gelombang arusnya dan makin pendek durasi muka gelombang (*front duration*).



BAB III

SISTEM PROTEKSI PETIR

III.1 Umum

Proteksi petir merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek dari bahaya yang diakibatkan petir, baik itu secara langsung maupun tak langsung.

Didasarkan pada tujuan atau sifat dari proteksi itu sendiri, proteksi petir terdiri dari dua jenis yaitu : proteksi sambaran petir, dan proteksi tegangan lebih petir. Prinsip kerja antara kedua jenis proteksi tersebut diatas tentu saja berbeda.

Proteksi sambaran petir lebih bersifat pencegahan (*preventif*), sedang proteksi tegangan lebih petir sifatnya tidak lagi mencegah tetapi mengurangi akibat yang ditimbulkan oleh sambaran petir, dalam hal ini apabila jenis proteksi yang pertama gagal melaksanakan fungsinya.

III.2 Sistem Proteksi Petir

Berdasarkan cara kerjanya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Sistem dengan penangkap petir

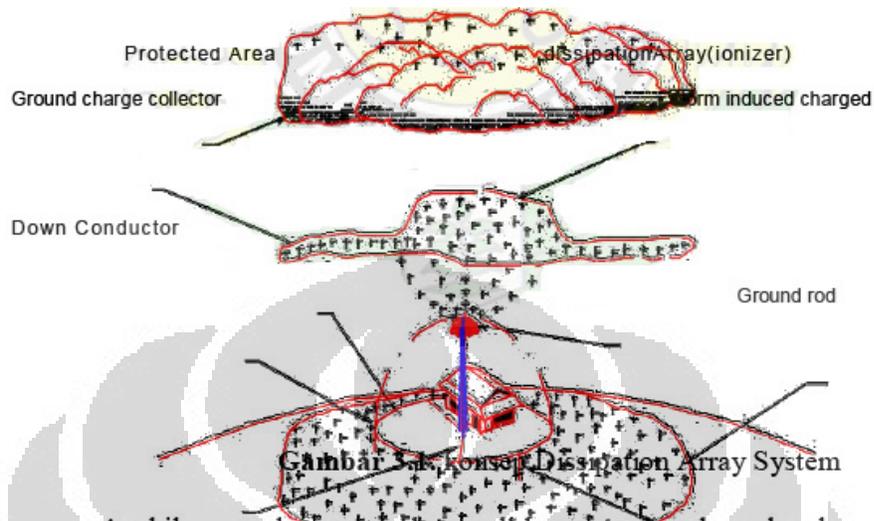
Prinsip kerja sistem ini adalah :

- ⇒ Harus menyediakan titik pada ujung bangunan yang diamankan untuk sasaran sambaran petir, dengan harapan petir akan menyambar titik itu terlebih dahulu.
- ⇒ Harus menyediakan saluran untuk menyalurkan arus petir ke tanah.
- ⇒ Harus menyediakan sistem pembumian untuk mendistribusikan arus petir yang masuk ke tanah dengan merata agar tidak menimbulkan kerusakan atau bahaya pada bagian dari bangunan atau pada manusia yang sedang berada disekitarnya.

2. Sistem disipasi (*dissipation array system*)

Pada prinsipnya, DAS (*dissipation array system*) tidak bertujuan untuk mengundang arus petir agar menyambar terminasi udara yang sudah disediakan, melainkan membuyar arus petir agar tidak mengalir kedaerah yang dilindungi.

Gambar berikut (gambar 3.1) menggambarkan konsep dari proteksi petir sistem disipasi (DAS).



Gambar 3.1 Konsep Dissipation Array System
 Apabila awan bermuatan bergerak ke suatu daerah, maka akan
 Gambar 3.1 Konsep proteksi petir sistem disipasi (DAS)

Apabila awan bermuatan bergerak ke suatu daerah, maka akan menginduksi muatan listrik diatas permukaan tanah ataupun bangunan dibawah awan petir tersebut. Muatan yang terinduksi ini selanjutnya dikumpulkan oleh sistem pembumian DAS yang kemudian diangkut ke bentuk ion (*ionizer*) dengan fenomena yang disebut *point discharge*, yaitu setiap bagian benda yang runcing akan memindahkan muatan listrik hasil induksi ke molekul udara disekitarnya bilamana titik temunya berada pada medan elektrostatik. Ionizer akan menghimpun ribuan titik-titik pertemuan secara individu dan sanggup untuk melepaskan muatan-muatan listrik hasil induksi tadi secara optimal, bilamana pada akhirnya dapat mengurangi beda potensial antara awan dan udara disekitar ionizer. Dengan kata lain medan listrik yang dihasilkan akan semakin kecil, sehingga memperkecil kemungkinan udara untuk tembus listrik, sehingga terjadinya petir dapat dihindari.

Berdasarkan tempatnya, sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu :

1. Proteksi Eksternal

Proteksi eksternal adalah instalasi dan alat-alat diluar suatu struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus surja petir ke sistem pembumian. Proteksi

eksternal petir berfungsi sebagai proteksi terhadap tegangan lebih petir jika terjadi sambaran langsung ke sistem atau bangunan yang dilindungi. Adapun hal-hal yang harus diperhatikan didalam merencanakan sistem proteksi petir eksternal adalah :

- ⇒ Macam, fungsi, dan bagan dari bangunan, ukuran dengan bangunan, bentuk, dan kemiringan atap.
- ⇒ Terminasi udara (*air terminal*) dimana jumlahnya haruslah cukup untuk memberikan daerah proteksi yang diinginkan.
- ⇒ Konduktor penyalur (*down conductor*) haruslah mampu menyalurkan arus petir yang diterima dari terminasi udara menuju bumi.
- ⇒ Pembumian (*grounding*) dimana resistansi pembumian < 10 ohm.

2. Proteksi Internal

- ⇒ Proteksi petir internal merupakan perlindungan terhadap sistem elektronika didalam bangunan/gedung akibat tegangan lebih yang ditimbulkan oleh induksi elektromagnetik akibat sambaran petir tak langsung. Walaupun bangunan sudah dilindungi terhadap sambaran petir, beberapa kerusakan pada peralatan listrik khususnya peralatan elektronika dapat disebabkan karena masuknya surja impuls petir melalui kabel listrik dan kabel komunikasi atau masuknya arus petir pada waktu terjadi sambaran langsung.

Sistem proteksi petir internal dapat terdiri dari satu jenis ataupun beberapa alat-alat proteksi petir, antara lain:

- *Arrester* : alat potong tegangan lebih pada peralatan
- *Shielding* : konstruksi dinding dan lantai secara khusus untuk menghilangkan induksi elektromagnetik
- *One point earthing system* : pemasangan potensial aqualization busbar yang berfungsi sebagai terminal pembumian
- Penggunaan kabel optik sebagai pengganti kabel tembaga pada instalasi listrik. Kabel optik tidak menyebabkan percikan antar kabel dan tidak terinduksi elektromagnetik
- Penggunaan trafo isolasi untuk mentransformasikan arus besar yang terjadi akibat sambaran petir ke jala-jala menjadi arus yang sangat kecil.

Oleh karena desain proteksi internal sangat tergantung pada instalasi listrik/elektronika maka arsitektur dalam bangunan serta perencanaan awal penggunaan bangunan harus diperhatikan.

III.3 Hari guruh

Menurut definisi WMO (*world meteorological organization*), hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km dari stasiun pengamatan.

Hari guruh ini disebut juga hari badai guntur (*thunderstorm days*). Data meteorologi dan Badan Meteorologi dan Geofisika menunjukkan adanya beberapa daerah di Indonesia yang jumlah Hari Badai Guntur per tahunnya cukup tinggi, antara lain : sebagian daerah Sumatera Utara, daerah Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, dan daerah Irian Jaya dimana hari badai gunturnya lebih dari 100 hari per tahun.

Petir yang terjadi memiliki intensitas sambaran yang harus selalu diamati setiap periode untuk dapat memperkirakan faktor resiko sambaran pada suatu wilayah, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan bangunan akan proteksi petir. Adapun hal-hal yang diperlukan didalam memperkirakan faktor resiko sambaran adalah :

1. *Isokeraunic level* : jumlah hari sambaran per tahun
2. *Lightning strike rate* : jumlah sambaran ke tanah per km² per tahun.

Lightning strike rate / curah petir menentukan tingkat bahaya sambaran pada suatu wilayah dan besarnya ditentukan oleh isokeraunic level. Nilai *lightning strike rate* ini bervariasi secara signifikan, dihitung dari rata-rata kerapatan annual yang dihitung dari observasi dalam satu periode selama bertahun-tahun.

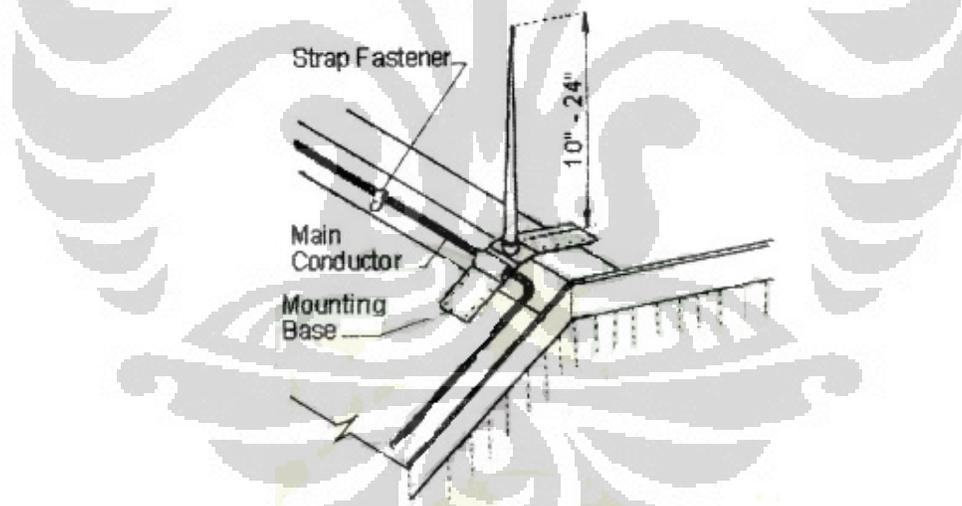
III.4 Proteksi terhadap sambaran petir

Usaha pertama yang dilakukan dalam proteksi petir adalah mencegah agar petir tidak menyambar objek yang dilindungi. Untuk itu dapat dilakukan dengan dua cara atau prinsip; *pertama* membentuk semacam tameng atau perisai bagi objek yang dilindungi sehingga diharapkan nantinya bila ada petir tidak

menyambar objek melainkan menyambar tameng atau perisai tersebut. *Kedua*, memperlucil kemungkinan terjadinya sambaran petir.

III.4.1 Penangkal petir konvensional

Teknik penangkal petir yang sederhana dan dikenal menggunakan prinsip yang pertama, yaitu dengan membentuk semacam tameng atau perisai berupa konduktor yang akan mengambil alih sambaran petir. Penangkal petir semacam ini biasanya disebut *groundwires* (kawat tanah) pada jaringan hantaran udara, sedangkan pada bangunan-bangunan dan perlindungan terhadap struktur, *Benjamin Franklin* memperkenalkannya dengan sebutan *lightning rod*. Istilah ini tetap digunakan sampai sekarang di Amerika. Di Inggris dan beberapa Negara di Eropa menggunakan istilah *lightning conductor* sedangkan di Rusia disebut *lightning mast*. Istilah yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah *lightning conductor*. Contoh konstruksi penangkal petir konvensional jenis *lightning conductor* ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Penangkal petir konvensional

Penangkal petir konvensional sifatnya pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya agar pada saat *step leader* mendekat dan kuat medan semakin besar maka *upward streamer* dapat lebih cepat terbentuk mendahului objek di sekitarnya.

III.4.2 Penangkal petir elektrostatik

Penangkal petir elektrostatik merupakan pengembangan terhadap penangkal petir konvensional (*lightning conductor*). Prinsipnya sama, yaitu sebagai tameng atau perisai yang mengambil alih sambaran petir. Perbedaannya terletak pada bagaimana cara mengalihkan sambaran petir tersebut. Contoh konstruksi penangkal petir elektrostatik diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Konstruksi salah satu dari jenis elektrostatik

Prinsip penangkal petir elektrostatik didasarkan pada ion-ion yang dihasilkan oleh kedua elektroda pada ujung penangkal petir. Di bawah pengaruh medan listrik antara awan dengan bumi, akan ada beda potensial diantara kedua elektroda. Tegangan antara kedua elektroda ini dapat menyebabkan percikan peluahan listrik membuat molekul-molekul udara disekitar kedua elektroda mengalami ionisasi sehingga mempercepat proses terbentuknya *upward streamer* dari penangkal petir. Proses pembentukan *upward streamer* yang lebih awal menyebabkan *upward streamer* yang terbentuk menjadi lebih tinggi dari kondisi biasa pada penangkal petir konvensional. Oleh karena itu, penangkal petir elektrostatik seolah-olah memiliki tinggi efektif perlindungan yang lebih tinggi dari penangkal petir yang sebenarnya.

III.4.3 Dissipation array sistem (*lightning preventor*)

Prinsip proteksi ini adalah memperkecil kemungkinan terjadinya sambaran petir. Ide untuk mencegah sambaran petir telah lama ada, mulai sekitar tahun 1754 ketika seorang ilmuwan Ceko, *Prokop Divisch*, memasang 216 titik runcing pada suatu rangka kayu setinggi 7,4 m. Titik-titik tersebut dirangkai terhubung satu sama lain dan kemudian dibumikan. Beberapa tahun kemudian, Lichtenberg (1775) memberikan suatu usulan yang menyatakan bahwa kemungkinan sambaran petir pada suatu rumah dapat dicegah dengan memasang kawat berduri di atasnya.

Sebagaimana diketahui sambaran petir merupakan peluahan listrik. Peluahan ini biasa terjadi apabila kuat medan yang terjadi melebihi medan tembus udara, artinya ada beda potensial yang cukup tinggi antara awan bermuatan dengan bumi sehingga kuat medannya juga cukup tinggi. Karena itu bila beda potensial makin rendah, maka kemampuan awan untuk melepas muatan juga berkurang sebab kuat medannya berkurang. Untuk membuat beda potensial tersebut berkurang, sistem penangkal petirnya dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai kemampuan untuk melepaskan muatan dari benda yang diproteksi ke udara sekitarnya. Sistem penangkal petir (*lightning preventor*) seperti ini dikenal dengan sebutan *Dissipation Array System* (DAS) atau *charge transfer system* (CTS), contoh konstruksinya diperlihatkan pada gambar 3.4.



Gambr 3.4 Dissipation Array System

Teknologi DAS atau CTS memanfaatkan prinsip *Point Discharge* sebagai titik perpindahan muatan (*charge transfer*) dari banyak ujung runcing, dimana tiap bagian benda yang runcing tersebut akan melepas muatan ke udara sekitar. Hal ini disebabkan karena ujung-ujung runcing tersebut berada dalam medan yang cukup kuat sehingga mampu mengionisasikan molekul-molekul udara di sekitarnya.

Selanjutnya *R.H Golde* mengajukan suatu konsep bentuk seperti payung dengan ujung-ujung runcing dipermukaanya. Konsep *Golde* ini memberikan bentuk yang lebih cermat dalam membuat medan yang seragam disekitar panangkal petir atau dibawah awan badai dengan memanfaatkan efek elektrostatik lingkungan sekitar titik-titik atau ujung runcing tersebut. Jika semua titik berada pada posisi yang tepat dengan sudut pandang medan elektromagnetik yang keluar, maka seluruh medan disekitar titik-titik tersebut akan merata tersebar sehingga efek yang timbul pada saat *step leader* mendekat menjadi tidak ada.

III.5 Proteksi terhadap tegangan lebih petir

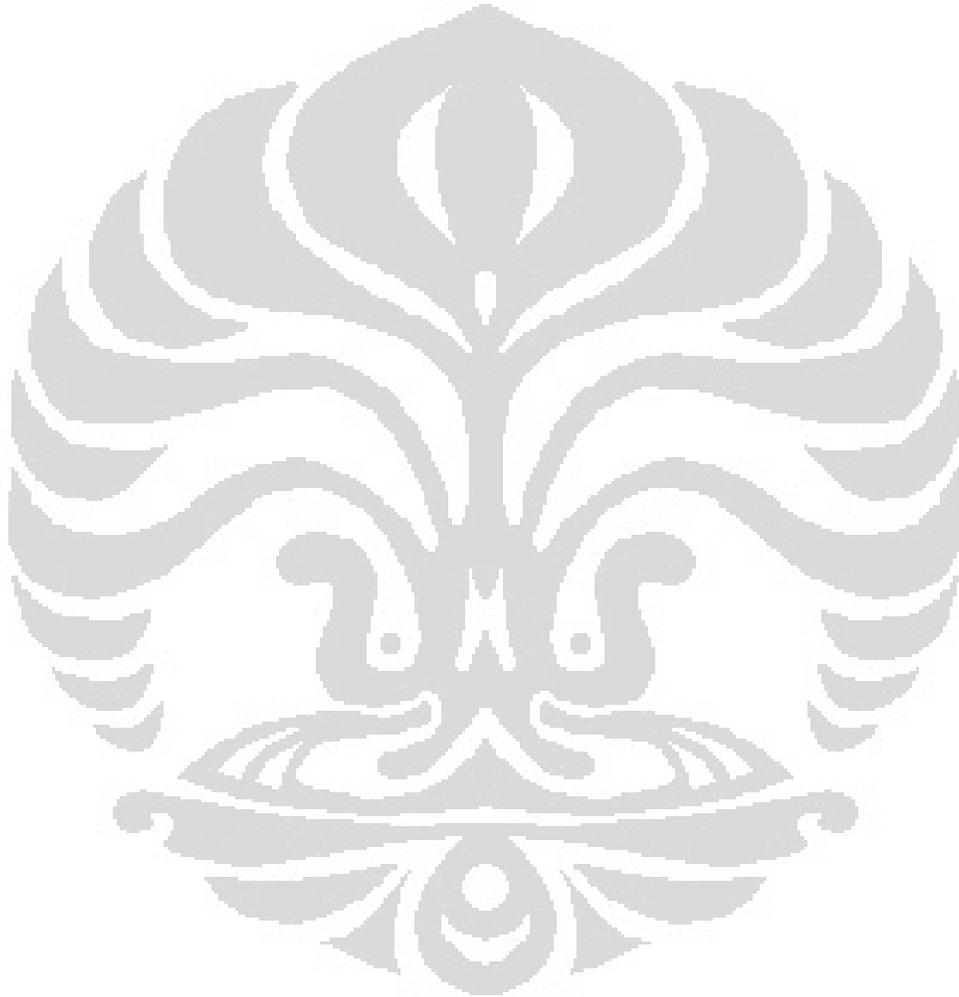
Sambaran petir dapat menyebabkan tegangan lebih, hal ini dikarenakan sambaran petir merupakan peristiwa pelepasan muatan artinya pada saat petir menyambar suatu objek berarti pada objek itu telah disuntikkan sejumlah muatan yang berasal dari petir sehingga tegangan pada objek tersebut naik melebihi yang seharusnya. Fenomena ini paling berbahaya bila terjadi pada peralatan-peralatan listrik yang memiliki tegangan kerja terbatas. Contohnya pada jaringan hantaran udara, peralatan elekttronika dan sebagainya.

Sambaran petir pada jaringan hantaran udara memberikan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada jaringan, sehingga di jaringan timbul tegangan lebih berbentuk gelombang impuls yang merambat di sepanjang jaringan menuju ujung-ujung jaringan. Tegangan lebih akibat petir ini sering disebut surja petir (*lightning surge*).

Jika tegangan lebih surja petir tiba disutu peralatan elektronika, komputer misalnya, maka tegangan lebih tersebut akan merusak sistem power supply pada komputer tersebut. Oleh karena itu perlu dibuat suatu alat pelindung agar

tegangan surja yang tiba di peralatan tidak melebihi range tegangan pada peralatan tersebut.

Ada dua macam alat pelindung dalam sistem tenaga listrik, yaitu Sela batang (*rod gap*) dan Arrester. Arrester itu sendiri terdiri dari dua jenis, yaitu jenis Ekspulsi (*expulsion type*) atau sering disebut tabung pelindung (*protector tube*) dan arrester jenis katup (*valve type*).



BAB IV

PROTEKSI BANGUNAN TINGGI TERHADAP SAMBARAN PETIR

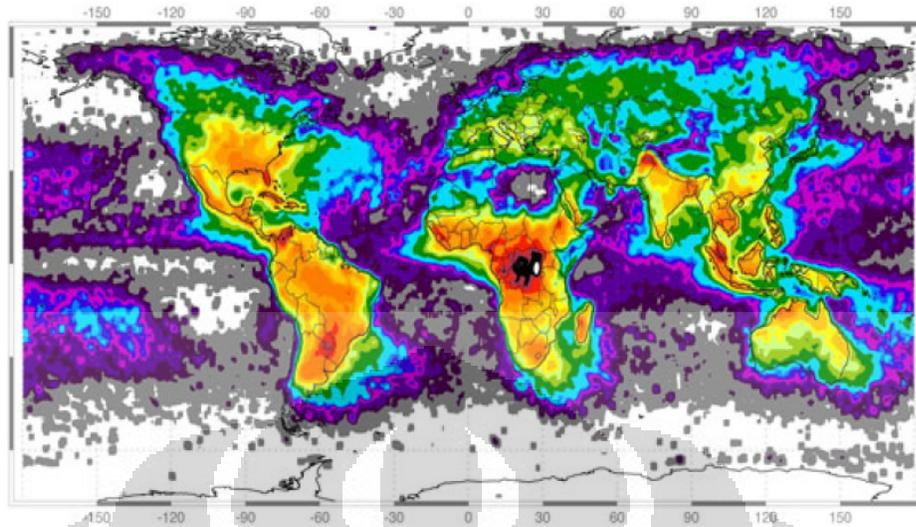
IV.1 Umum

Keadaan geografis yang dekat ke khatulistiwa menyebabkan Indonesia termasuk sebagai wilayah yang memiliki hari guruh pertahun (*Thunderstorm Days*) tinggi dengan jumlah sambaran petir yang banyak sehingga memungkinkan banyak terjadi bahaya dan kecelakaan akibat sambaran petir.

Sambaran petir dapat menimbulkan gangguan pada sistem tenaga listrik. Pada bangunan atau gedung bertingkat, efek gangguan akibat sambaran petir ini semakin besar sesuai dengan semakin tinggi dan luasnya area bangunan tersebut. Penyebab dari kerusakan-kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran petir, terutama adalah besar (amplitudo) dari arus petir berkisar 5 sampai 200 kA. Kerusakan-kerusakan pada bangunan yang tersambar dapat berupa kerusakan termis, misalnya bagian yang tersambar terbakar, dan dapat pula berupa kerusakan mekanis, misalnya bagian atap bangunan reka atau roboh bangunan retak atau runtuh.

Bila terjadi aktivitas pengumpulan atau pembentukan muatan pada awan, maka induksi muatan dengan polaritas yang berlawanan terjadi di permukaan bumi. Pada pengangkal petir, ujungnya dibuat runcing dengan tujuan agar saat terjadi penumpukan muatan diawan, ujung yang runcing itulah yang pertama terinduksi. Dengan demikian diharapkan petir akan menyambar ujung batang penangkap petir terlebih dahulu karena sifat muatan listrik dari petir yang selalu mencari daerah konduktif dan yang kuat medan listriknya tinggi. Penangkap petir dihubungkan dengan konduktor pembumian yang akan meneruskan arus petir ke bumi dan kemudian disebarkan oleh elektroda pembumian.

Pada masa sekarang ini masih sering terdengar ada orang meninggal karena tersambar petir, entah itu anak-anak, muda maupun dewasa. Di Indonesia sendiri kejadian semacam ini sering terdengar.



Sumber : NASA

Gambar 4.1 Peta distribusi Petir di Dunia

Gambar diatas adalah peta distribusi petir di dunia, daerah hitam di Afrika Tengah adalah tempat terjadinya petir dengan intensitas tertinggi di dunia, daerah yang berwarna merah, oranye dan kuning adalah daerah dengan intensitas petir tinggi sedangkan daerah yang berwarna putih atau berwarna biru adalah daerah dengan intensitas rendah.

IV.2 Besarnya kebutuhan bangunan terhadap sistem proteksi petir

Kebutuhan bangunan akan proteksi petir ditentukan dengan cara klasifikasi area tempat bangunan atau dengan perhitungan menggunakan parameter hari guruh dimana gedung itu berada dan koefisien-koefisien lain yang diperlukan tergantung dari standar yang dipilih atau digunakan.

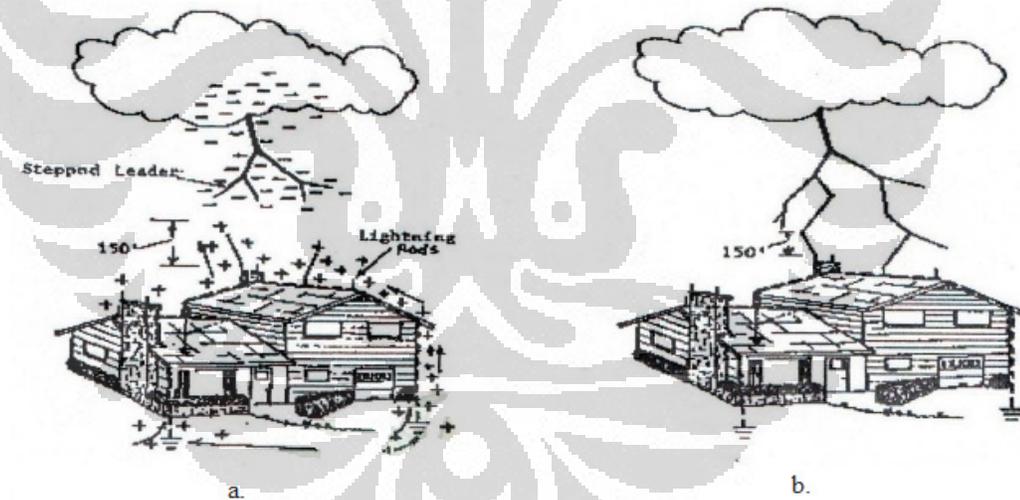
Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada didalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Instalasi-intalasi bangunan yang berdasarkan letak, bentuk, penggunaannya dianggap mudah terkena sambaran petir dan perlu diberi pengangkal petir adalah :

1. Bangunan-bangunan tinggi, seperti menara-menara, gedung-gedung bertingkat, cerobong-cerobong pabrik.

2. Bangunan-bangunan penyimpanan bahan mudah terbakar atau meledak misalnya seperti pabrik amunisi, gudang penyimpanan bahan peledak, gudang penyimpanan cairan atau gas yang mudah terbakar, dan lain-lain.
3. Bangunan-bangunan untuk umum, misalnya gedung-gedung bertingkat, gedung pertunjukan, gedung sekolah, stasiun, dan lain-lain.
4. Bangunan-bangunan yang berdasarkan fungsi khusus perlu dilindungi secara baik, misalnya museum, gedung arsip Negara, dan lain-lain.

IV.3 Prinsip proteksi terhadap sambaran petir dengan menggunakan *lightning conductor*

Prinsip utama proteksi terhadap sambaran petir menggunakan *lightning conductor* adalah mengalihkan sambaran petir ke *lightning conductor* sehingga tidak menyambar objek yang diproteksi. Sebagai alat proteksi, ada dua fungsi utama *lightning conductor* pada posisi ini; pertama sebagai tameng atau perisai, dan kedua sebagai pemberi jalan termudah untuk disambar petir.



Gambar 4.2 Prinsip proteksi terhadap sambaran petir dengan menggunakan *lightning conductor*

Sebagaimana terlihat pada gambar 4.2.a, ketika step leader turun mendekati bumi, maka pada saat itu pembentukan *upward streamer* dari *lightning conductor* lebih cepat dan lebih tinggi daripada benda yang diproteksi. Hal ini terjadi karena posisi *lightning conductor* yang lebih tinggi dan lebih runcing sehingga muatan yang

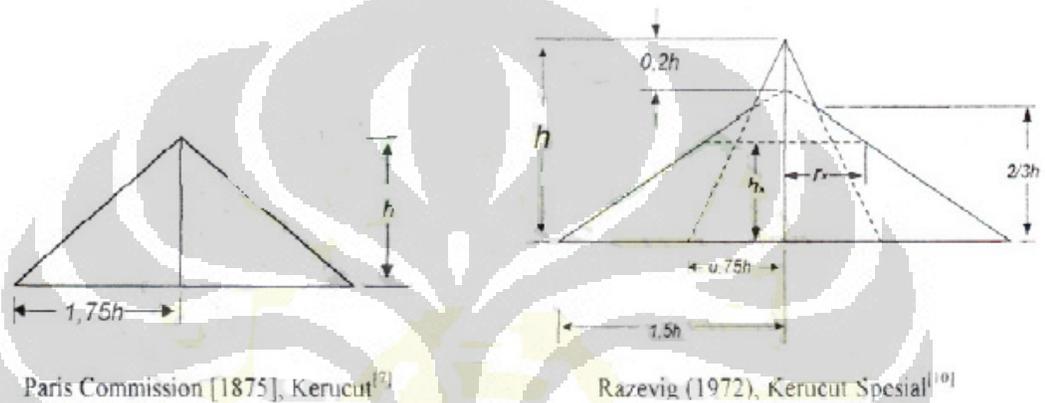
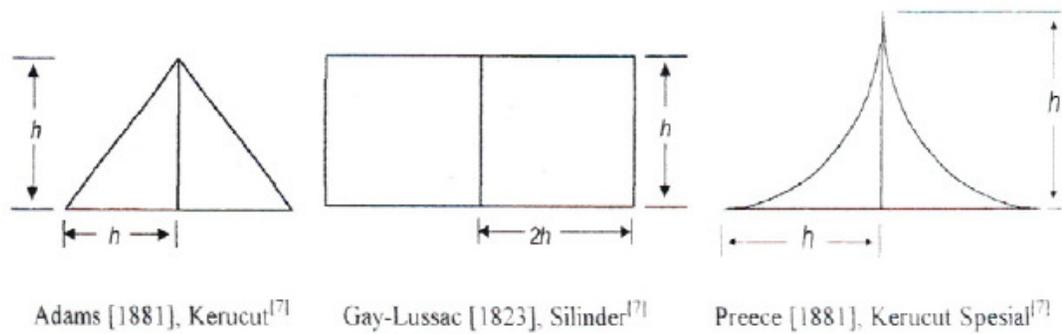
terkumpul juga kemungkinan lebih banyak dan lebih cepat. Pada tahap ini, *lightning conductor* bersifat “mengorbankan diri” sebagai jalan termudah bagi *step leader* untuk melepaskan muatan membentuk sambaran petir yang sempurna.

Kemudian pada gambar 4.3.b, karena *upward streamer* dari *lightning conductor* lebih tinggi, maka kemungkinan untuk lebih dahulu tersentuh atau masuk ke zona jarak sambaran lebih besar, sehingga pertemuan antara *upward streamer* dari *lightning conductor* dengan *step leader* terjadi lebih dahulu dan sambaran petir yang terjadi menyambar *lightning conductor*. Pada tahap ini *lightning conductor* berfungsi sebagai tameng atau perisai yang mengambil alih sambaran petir. Selanjutnya, muatan yang dilepas saat sambaran ini dilarikan ke bumi melalui elektroda pentanahan sehingga tidak merusak objek yang dilindungi sampai akhirnya sambaran petir berhenti.

IV.4 Zona proteksi *lightning conductor*

Istilah zona proteksi digunakan untuk menyatakan lingkup proteksi *lightning conductor*, yaitu seberapa luas suatu daerah yang dapat dicakup oleh *lightning conductor* sehingga pada daerah tersebut memiliki kemungkinan yang kecil untuk disambar petir. Posisi *lightning conductor* yang vertikal membuat tampak atasnya hanya berupa suatu titik, sehingga bila *step leader* mendekati *lightning conductor* dari arah manapun akan mengalami reaksi yang sama (tanpa kondisi khusus).

Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku *lightning conductor* dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volume dengan *lightning conductor* sebagai sumbu. Beberapa pendapat penelitian mengenai bentuk volume zona proteksi *lightning conductor* terlihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Beberapa teori tentang zona proteksi *lightning conductor*

Bidang dasar zona proteksinya merupakan suatu lingkaran dengan *lightning conductor* sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi *lightning conductor* digunakan sebutan “Radius Proteksi” atau jari-jari proteksi, yaitu jarak terluar (terjauh) dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi oleh *lightning conductor*. Sebagaimana terlihat pada gambar 4.3. diatas, gambaran zona proteksi *Razevig* cukup lengkap dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut (*Soli Akbar H, p. 45, 2010*):

$$r_x = \frac{1,6}{1 + h_x/h} (h - h_x) \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

r_x = radius proteksi

h_x = tinggi maksimum objek yang diproteksi

h = tinggi total pengangkal petir

Dari persamaan diatas, terlihat bahwa menurut *Razevig* radius proteksi berubah-ubah mengikuti perubahan tinggi benda yang diproteksi. Sementara

untuk peneliti lain tidak ada keterangan yang menjelaskan lebih lanjut mengenai radius proteksi ini. Bahkan beberapa peneliti yaitu Anderson (1879), Lodge (1892), Walter (1937) memberikan kesimpulan bahwa tidak ada kekhususan atau hal khusus yang dapat menggambarkan secara lengkap mengenai zona proteksi *lightning conductor*.

IV.5 Rancangan sistem terminasi udara menurut SNI 03-7015-2004

Untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi, maka tulisan ini menggunakan metode-metode yang terdapat di dalam SNI 03-7015-2004, yaitu :

1. Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*)
2. Metode bola bergir (*Rolling Sphere Method*)
3. Metode jala (*Mesh Sized Method*)

Metode proteksi sebaiknya dipilih oleh prancang proteksi petir dengan pertimbangan sebagai berikut :

- a. Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*) cocok untuk bangunan gedung atau bagian kecil dari bangunan gedung yang lebih besar. Metode ini tidak cocok untuk bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang sesuai dengan tingkat proteksi sistem proteksi petir (SPP) yang dipilih.
- b. Metode bola gulir (*Rolling Sphere Method*) cocok untuk bentuk bangunan gedung yang rumit.
- c. Metode jala (*Mesh Sized Method*) dipakai untuk keperluan umum dan khususnya cocok untuk proteksi struktur dengan permukaan datar.

Dilihat dari ketiga metode diatas, maka dalam perencanaan terminasi udara pada bangunan, ketiga metode diatas dapat dikombinasikan untuk membentuk zona proteksi dan meyakinkan bahwa bangunan tersebut terproteksi seluruhnya.

Standar SNI ini tidak memberikan kriteria untuk pemilihan sistem terminasi udara karena dianggap batang, kawat rentang, dan konduktor jala adalah sama.

Dipertimbangkan bahwa :

1. Tinggi batang terminasi udara sebaiknya antara 2-3 meter untuk mencegah peningkatan frekuensi sambaran petir langsung.

2. Rentangan kawat dapat digunakan dalam semua kasus sebelumnya dan untuk bentuk bangunan yang rendah ($a/b > 4$, dimana a : panjang bangunan, dan b : lebar bangunan).
3. Sistem terminasi udara terdiri dari jala konduktor untuk keperluan umum.

Adapun ukuran minimum bahan SPP (Sistem Penangkal Petir) yang dipakai didalam standar ini untuk menggunakan terminasi udara adalah dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan terminasi udara

Tingkat Proteksi	Bahan	Terminasi Udara (mm ²)
I sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

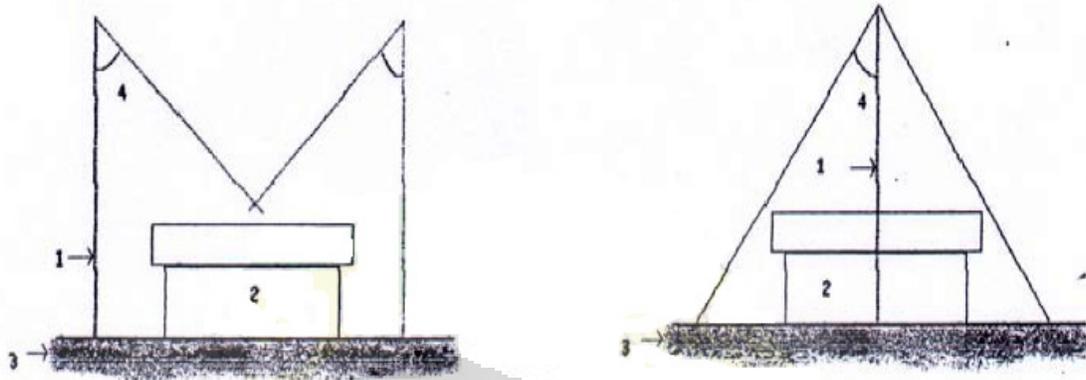
IV.5.1 Metode sudut proteksi (*angle protection method*)

Daerah yang diproteksi adalah daerah yang berada di dalam kerucut dengan sudut proteksi sesuai tabel 4.2.

Pada metode dengan metode sudut proteksi ini, terminasi udara dipasang pada setiap bagian dari struktur bangunan yang dilindungi yang tidak tercakup pada daerah proteksi yang dibentuk. Nilai sudut yang terbentuk sebagai daerah proteksi adalah bergantung dari ketinggian terminasi udara (*rod/mast*) dari daerah yang diproteksi.

Metode sudut proteksi secara geometris mempunyai keterbatasan dan tidak digunakan untuk bangunan/gedung yang lebih tinggi dari radius bola gulir yang ditentukan dalam tabel 4.2.

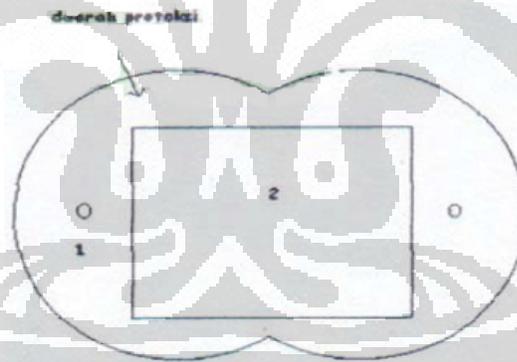
Konduktor terminasi udara sebaiknya ditempatkan sedemikian sehingga semua bagian bangunan gedung yang diproteksi berada diselah dalam permukaan selubung yang dihasilkan oleh proyeksi titik-titik dari konduktor terminasi udara ke bidang referensi, dengan sudut α ke garis vertikal dalam semua arah. Rancangan terminasi udara menggunakan metode sudut proteksi ini dapat dilihat pada gambar 4.4.



Keterangan :

- 1 : Tiang terminasi udara
- 2 : Bangunan yang diproteksi
- 3 : Bidang referensi
- 4 : Sudut proteksi yang dibentuk sesuai tabel 2

Gambar 4.4 Daerah proteksi tampak depan dan samping



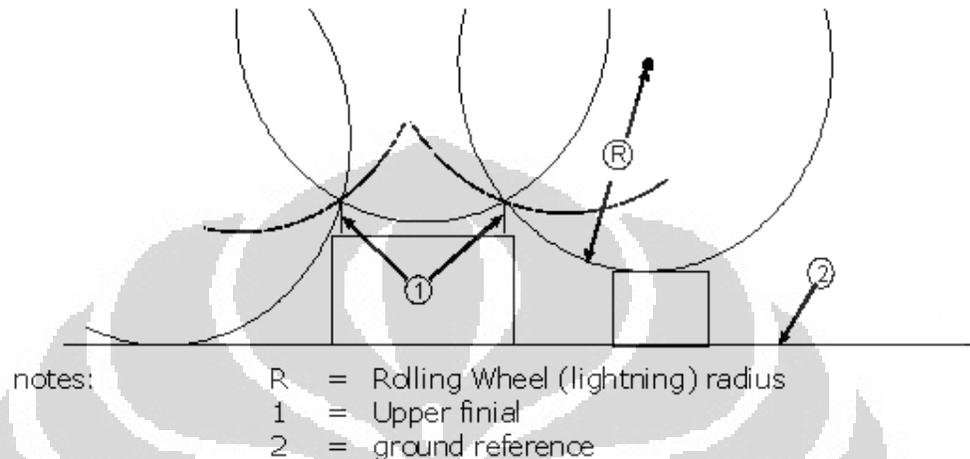
- Keterangan :
- 1. Terminasi udara
 - 2. Bangunan yang diproteksi

Gambar 4.5 Daerah proteksi tampak atas

IV.5.2 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 diatas tanah, sekeliling struktur dan diatas struktur ke segala hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi

yang mampu bekerja sebagai penghantar (gambar 4.6). Titik bola bergulir pada struktur yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung pengangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan.



Picture 1. Rolling Wheel Method

Gambar 4.6. Daerah proteksi dengan metode bola bergulir

Metode bola bergulir (*rolling sphere*) ini sebaiknya digunakan untuk mengidentifikasi ruang yang terproteksi dari bagian atau luasan bangunan/gedung yang tidak tercakup oleh metode sudut proteksi (*angle protection method*).

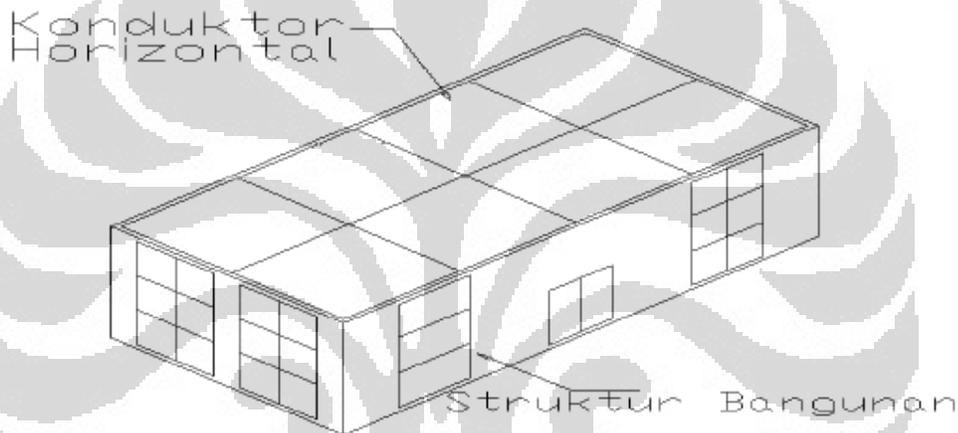
Dengan metode ini, penempatan sistem terminasi udara dianggap memadai jika tidak ada titik pada daerah yang diproteksi terbentuk oleh bola bergulir dengan radius R , di sekeliling dan di atas bangunan/gedung kesemua arah. Untuk itu, bola hanya boleh menyentuh tanah atau sistem terminasi udara.

Radius bola bergulir harus sesuai dengan tingkat proteksi SPP (Sistem Proteksi Petir) yang dipilih menurut tabel 4.1. Pada gambar diatas, bola dengan radius R digulirkan sekeliling dan di atas bangunan/gedung hingga bertemu dengan bidang tanah atau bangunan/gedung permanen atau objek yang berhubungan dengan bidang bumi yang mampu bekerja sebagai konduktor petir. Titik sentuh bola gulir pada bangunan/gedung merupakan titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara.

Pada penyusunan skripsi ini etode proteksi dengan sistem terminasi udara yang digunakan adalah metode bola bergulir (*rolling wheel method*). Hal ini sesuai dengan kriteria menara yang mempunyai ketinggian yang rumit dan perbedaan ketinggian dengan bangunan lainnya.

IV.5.3 Metode jala (*meshed sized method*)

Metode ini digunakan untuk keperluan permukaan yang datar karena bisa dilindungi seluruh permukaan bangunan. Daerah yang diproteksi adalah keseluruhan daerah yang ada didalam jala-jala (Gambar 4.7). Ukuran jala sesuai tingkat proteksi dapat dipilih pada tabel 4.2.



Gambar 4.7 Daerah proteksi dengan medode jala

Untuk keperluan perlindungan permukaan yang datar, SPP (Sistem Proteksi Petir) jala diyakini melindungi seluruh permukaan jika dapat memenuhi kondisi berikut :

- a. Kondisi teminasi udara ditempatkan pada :
 - ⇒ Garis pinggir sudut atap
 - ⇒ Serambi atap
 - ⇒ Garis hubungan atap jika kemiringan lebih dari 1/10
- b. Permukaan samping pada bangunan/gedung yang tingginya lebih dari radius bola gulir yang relevan dengan tingkat proteksi yang dipilih sesuai tabel 4.2 harus dilengkapi dengan sistem terminasi udara.

- c. Dimensi jala pada jaringan terminasi udara tidak lebih dari nilai yang diberikan dalam tabel 4.2.
- d. Jaringan sistem terminasi udara disempurnakan sedemikian rupa hingga arus petir akan selalu mengalir melalui dua lintasan logam berbeda, tidak boleh ada instalasi logam menonjol keluar dari volume yang dilindungi oleh sistem terminasi udara.
- e. Konduktor terminasi udara harus mengikuti lintasan terpendek yang dimungkinkan.

IV.6 Konduktor penyalur (*down conductor*)

Konduktor penyalur (*down conductor*) adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk melewatkan arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem pembumian.

Konduktor penyalur perlu dirancang agar tidak menimbulkan induksi terhadap peralatan-peralatan listrik yang terdapat didalam ataupun disekitar bangunan atau gedung yang diproteksi. Pemilihan jumlah dan posisi konduktor penyalur sebaiknya diperhitungkan kenyataan bahwa jika arus petir dibagi.

Adapun ukuran minimum bahan SPP (Sistem Penangkal Petir) dipakai di dalam standar ini untuk penggunaan konduktor penyalur (*down conductor*) adalah dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel. 4.4 Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan konduktor penyalur

Tingkat Proteksi	Bahan	Konduktor Penyalur (mm ²)
I sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

Cara penempatan konduktor penyalur dengan melihat kondisi bangunan/bangunan yang diproteksi :

1. Jika dinding terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar, konduktor penyalur dapat ditempatkan pada permukaan atau didalam dinding tersebut.
2. Jika dinding terbuat dari bahan yang mudah terbakar, konduktor penyalur dapat ditempatkan pada permukaan dinding, asalkan kenaikan suhu karena lewatnya arus petir tidak berbahaya untuk bahan dinding.
3. Jika dinding terbuat dari bahan yang mudah terbakar dan kenaikan suhu konduktor penyalur berbahaya, maka konduktor penyalur harus ditempatkan sedemikian sehingga jarak antara konduktor penyalur dengan ruang terproteksi selalu lebih besar dari 0,1 m. Braket pemasangan yang terbuat dari logam boleh melekat pada dinding.

IV.7 Sistem terminasi bumi (*grounding system*)

Sistem terminasi bumi (*grounding network*) perlu dirancang sedemikian rupa sehingga memperkecil tegangan sentuh dan tegangan langkah sehingga aman bagi manusia dan peralatan yang terdapat di sekitar daerah yang proteksi.

Guna mengalirkan arus petir ke bumi tanpa menyebabkan tegangan lebih yang berbahaya, maka bentuk dan dimensi sistem terminasi bumi lebih penting dari nilai spesifik elektroda bumi. Namun pada umumnya direkomendasikan resistansi bumi yang rendah.

Sistem terminasi bumi terdiri dari satu atau lebih elektroda bumi yang dianggap mampu mengalirkan arus petir ke tanah tanpa adanya lompatan tegangan yang berbahaya. Adapun jenis-jenis elektroda bumi yang digunakan adalah :

1. Elektroda cincin (ring)
2. Elektroda tegak/miring
3. Elektroda radial
4. Elektroda bumi pondasi

Sejumlah konduktor yang terdistribusi secara merata lebih disukai daripada sebuah konduktor bumi tunggal yang panjang karena konduktor bumi yang lebih dari satu ini, maka pada saat salah satu konduktor tersebut mengalami

kegagalan di dalam menyalurkan arus petir ke bumi, maka arus petir akan tetap mengalir ketanah melalui konduktor pembumian yang lain.

Panjang minimum elektroda bumi berkaitan dengan tingkat proteksi untuk bermacam-macam resistivitas tanah dapat dilihat pada lampiran. Namun elektroda bumi yang tertanam dalam akan efektif jika resistivitas tanah menurun sesuai dengan keadaan tanah. Apabila resistivitas tanah yang diinginkan terdapat pada kedalaman yang lebih dalam daripada elektroda batang, maka elektroda tersebut biasanya ditanam.

Terdapat dua jenis dasar susunan elektroda bumi untuk sistem terminasi bumi yaitu :

1. Susunan jenis A

- Jenis susunan ini terdiri dari elektroda radial atau tegak.
- Masing-masing konduktor penyalur harus dihubungkan dengan sekurang-kurangnya satu elektroda bumi terpisah yang terdiri dari elektroda radial atau tegak/miring.
- Jumlah minimum elektroda bumi haruslah dua.
- Panjang minimum masing-masing elektroda adalah :
 - L1 untuk elektroda mendatar radial
 - 0,5 L1 untuk elektroda tegak/miring
 - L1 adalah panjang minimum elektroda radial yang diperlihatkan pada bagian yang relevan.
- Pada tanah dengan resistivitas rendah, panjang minimum yang dinyatakan dapat diabaikan dengan syarat resistansi bumi lebih kecil dari 10 ohm dapat dicapai.
- Untuk elektroda kombinasi sebaiknya dipertimbangkan panjang total.

2. Susunan Jenis B

- Untuk elektroda bumi cincin (atau elektroda bumi pondasi), radius rata-rata r dari daerah yang dicakup oleh elektroda bumi cincin (atau elektroda bumi pondasi) tidak boleh lebih kecil dari nilai L1.
- Jika nilai L1 yang diisyaratkan lebih besar dari nilai r yang tepat, maka elektroda radial atau tegak/miring harus ditambahkan dimana masing-masing

panjang L_r (mendatar) dan L_v (tegak/miring) diberikan oleh persamaan berikut :

$$L_r = L_1 - r \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$L_v = \frac{(L_1 - r)}{2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Syarat-syarat pemasangan elektroda bumi adalah sebagai berikut :

1. Elektroda bumi cincin eksternal sebaiknya ditahan pada kedalaman paling sedikit 0,5 meter tetapi tidak kurang dari 1 m terhadap dinding.
2. Elektroda bumi harus dipasang diluar ruang terproteksi dengan kedalaman sekurang-kurangnya 0,5 meter dan didistribusikan sebaik mungkin untuk mengurangi efek kopling listrik dalam bumi.
3. Elektroda bumi cincin dipasang dengan jarak minimal sekitar 3 meter dan cincin pertama dan seterusnya tergantung dari beberapa keekonomisan yang terjadi.
4. Kedalaman dan jenis elektroda bumi yang harus ditanam sedemikian sehingga mengurangi efek korosi, pengeringan dan pembekuan tanah sehingga resistansi bumi menjadi stabil.
5. Direkomendasikan untuk daerah padat hanya menggunakan susunan pembumian jenis B.

Adapun ukuran minimum bahan SPP (Sistem Penangkal Petir yang dipakai didalam standar ini untuk terminasi bumi adalah dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan terminasi bumi

Tingkat Proteksi	Bahan	Konduktor Penyalur (mm ²)
I sampai IV	Cu	50
	Al	-
	Fe	80

Sumber : SNI 03-7015-2004, p. 57

IV.8 Pemilihan Bahan

Bahan SPP dan kondisi pemakaiannya adalah seperti dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6 Bahan SPP dan kondisi penggunaan

Bahan	Penggunaan			Korosi		
	Dalam udara terbuka	Dalam tanah	Dalam beton	Resistan	Meningkat oleh	Elektrolit dengan
Tembaga	Padat berserabut sebagai pelapis	Padat berserabut sebagai pelapis	-	Terhadap banyak bahan	Klorida konsentrasi tinggi senyawa sulfur bahan organik	-
Baja	Padat	Padat	Padat	Baik	-	Tembaga
Galvanis panas	Berserabut	-	-	Walaupun dalam tanah asam	-	-
Stainless steel	Padat standed	Padat	-	Terhadap banyak bahan	Air dengan larutan klorida	-
Aluminium	Padat berserabut	-	-	-	Tanah basis	Tembaga
Lead	Padat sebagai pelapisan	Pada sebagai palapisan	-	Sulfat konsentrasi tinggi	Tanah asam	Tembaga

Sumber : SNI 03-7015-2004, p. 56

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan didalam pemilihan bahan SPP adalah :

1. SPP sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi seperti tembaga, aluminium, inox, dan baja galvanis.
2. Sambungan antara bahan yang berbeda harus dihindarkan ataupun harus dilindungi.
3. Bagian dari tembaga seharusnya tidak dipasang diatas bagian galvanis kecuali bagian tersebut dilindungi terhadap korosi.

BAB V

ANALISA BAHAYA PETIR PADA MENARA IT

V.1 Umum

Proteksi petir merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek dari bahaya yang diakibatkan petir, baik itu secara langsung maupun tak langsung.

Bangunan-bangunan inti, diantaranya menara-menara radio atau telekomunikasi, merupakan objek yang sangat penting untuk dilindungi terhadap petir. Selain peralatan aktivitas manusia di sekitar menara tersebut juga harus dilindungi.

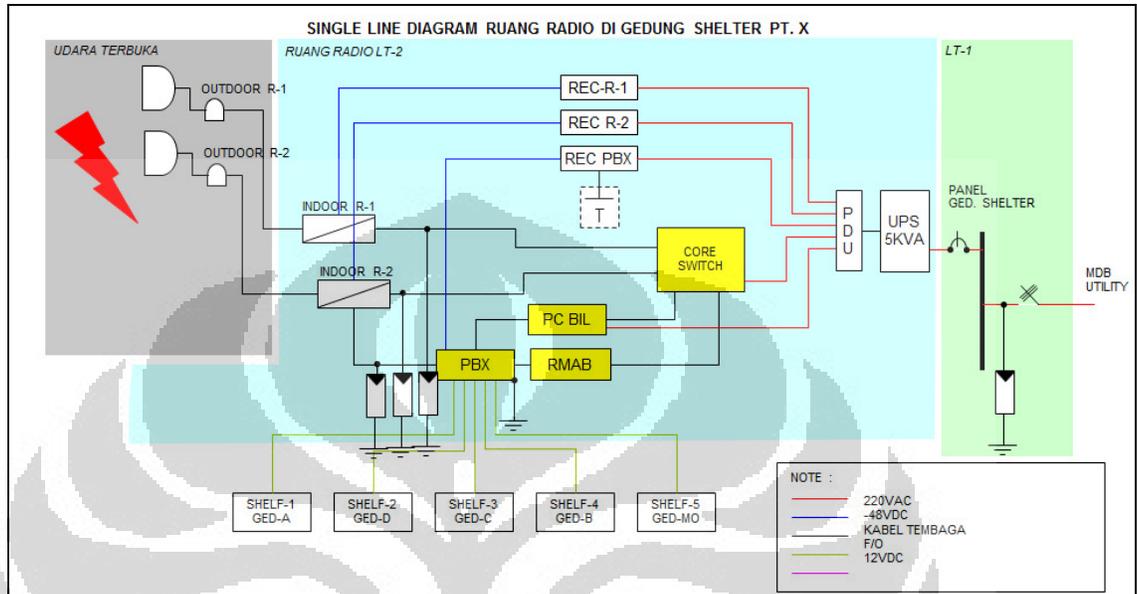
V.2 Operasional sistem pengiriman data elektronik

Menara IT PT. X yang berlokasi di Cibitung –Bekasi ini memiliki ketinggian 84 meter adalah objek yang sangat penting untuk dilindungi mengingat fungsinya yang sangat vital dalam menjaga kontinuitas layanan data dan suara bagi proses bisnis PT. X tersebut dan menjaga aktivitas karyawan supaya terhindar dari sambaran petir.

Jalur pengiriman komunikasi data dan suara pada PT. X, dilakukan antar beberapa lokasi yaitu Jakarta (Sunter), Jakarta (Pegangsaan), Jakarta (Pulau Gadung), dan Bekasi (Cibitung). Untuk operasional komunikasi tersebut dibutuhkan perangkat telekomunikasi yang ditempatkan pada suatu ruangan yang disebut sebagai ruang *shelter*. Peralatan elektronik yang digunakan diantaranya adalah perangkat radio, LAN, *core switch*, baterai, back up data, *communication CMS*, IT help desk dan peralatan lainnya. Kemudian dari ruang *shelter* ada pendistribusian PABX ke beberapa area lagi seperti ditunjukkan pada gambar 5.1.

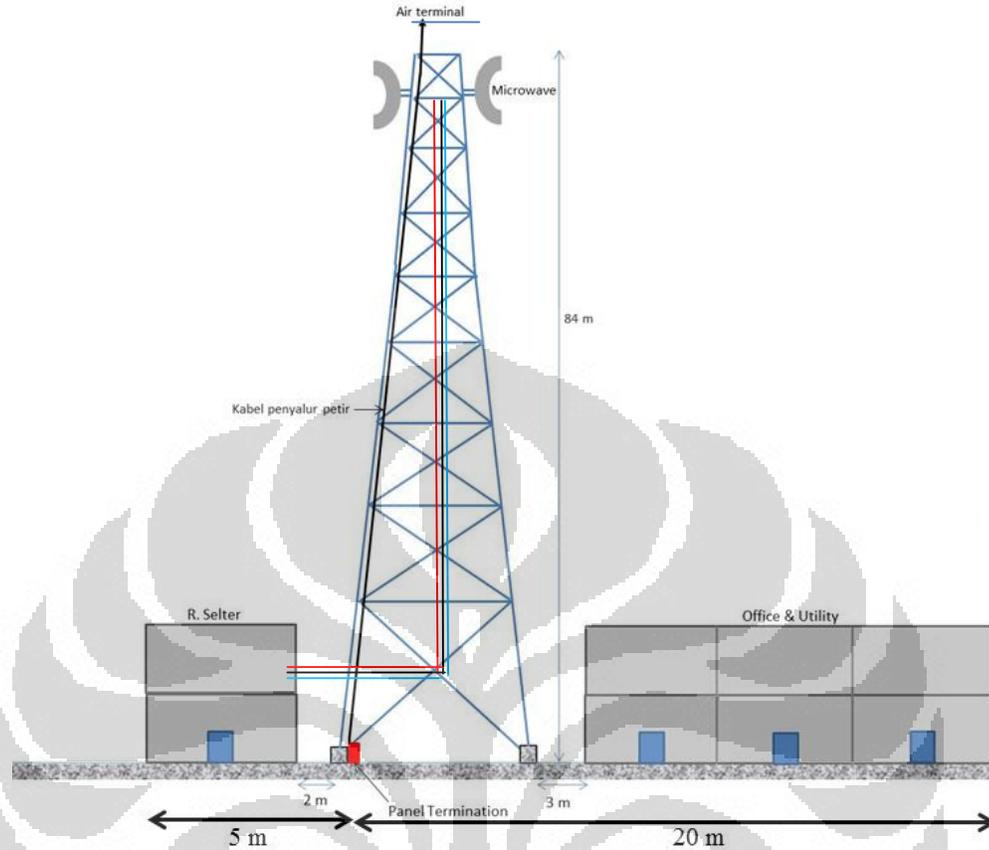
Dari gambar 5.1 terlihat bahwa sistem tenaga yang digunakan untuk peralatan elektronik relatif rendah baik DC maupun AC. Peralatan elektronik yang dipakai hampir secara keseluruhan sudah berbasis mikroprosesor yang sangat peka dan rentan terhadap gangguan petir. Dalam hal hitungan *microsecond*, naiknya tegangan dalam beberapa kilovolt akibat sambaran petir tersebut dapat merusak peralatan elektronik yang bekerja pada range tegangan *millivolt* sehingga sistem informasi dapat terganggu.

Beberapa sistem tenaga yang diperlukan pada peralatan elektronik tersebut adalah catu daya utama AC 220 Volt. Kemudian peralatan radio, LAN, komunikasi membutuhkan catu daya DC 12 Volt dan 48 Volt.



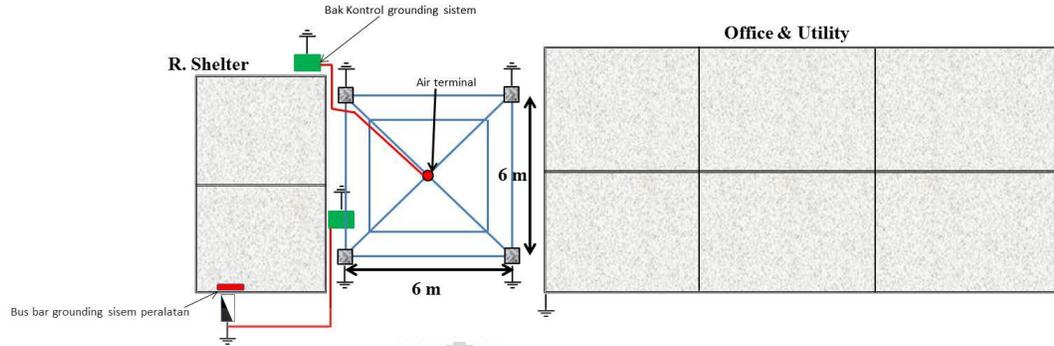
Gambar 5.1 Single line diagram ruang shelter PT. X

Struktur perancangan menara IT tersebut terbuat dari kerangka logam dengan tinggi menara 84 meter. Peralatan pendukung komunikasi seperti komputer dan peralatan elektronik lainnya ditempatkan di sebuah ruangan yang berada 2 meter dengan kaki menara. Disisi lainya juga ada sebuah gedung untuk aktivitas karyawan proses adiministrasi dan utility dengan jarak 3 meter. Secara jelasnya dapat dilihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Posisi menara IT tampak depan

Sistem proteksi dari gangguan petir sudah dirancang sebelumnya dengan menggunakan sistem proteksi eksternal maupun internal. Proteksi eksternal berupa penangkal petir dan sistem pentanahan. Sistem pentanahan dipergunakan untuk penangkal petir dan peralatan elektronik yang berada di area menara. Sistem pentanahan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.3. Pada gambar tersebut terlihat bahwa sistem pentanahan penangkal petir terpisah dengan sistem pentanahan peralatan elektronik. Sistem ini dibedakan dengan menggunakan bak kontrol grounding secara tersendiri.



Gambar. 5.3 Sistem grounding penangkal petir dan peralatan elektronik

Spesifikasi perancangan grounding sistem pada penangkal petir (Sumber :

Surat Ijin Laik Pakai):

- ⇒ Tipe dan jenis penyalur petir : Electrostatic
- ⇒ Hantaran penyalur : BC 70 mm²
- ⇒ Pengukuran resistansi tanah pemasangan awal : 0.4 Ω.
- ⇒ Penghantar penyalur : Tiaxial cable
- ⇒ Tiang penyalur : Galvanis
- ⇒ Penerima petir (air terminal) : Prevector 2
- ⇒ Radius proteksi : 100 meter
- ⇒ Bentuk elektroda : Grounding rod 5/8
- ⇒ Sarana untuk record flash lighting : *Flash counter*
- ⇒ Jumlah sambungan : 1
- ⇒ Jumlah hantaran : 4
- ⇒ Pengukuran grounding sistem : 0.01 Ω

Secara berkala monitoring sistem grounding diatas rutin dilakukan, sampai dengan pengukuran resistansi sistem pentanahan dan pendataan jumlah sambaran petir. Data tersebut dapat dilihat pada tabel 5.1 dibawah ini.

Tabel 5.1 Hasil monitoring grounding sistem penangkal petir dan *flash counter*

Bulan	Jumlah sambaran petir	Resistansi Grounding	Metode Pengukuran
Januari	11	-	Selective 3 pole
Februari	11	0.22 Ω	Selective 3 pole
Maret	18	-	Selective 3 pole
April	18	-	Selective 3 pole
Mei	18	-	Selective 3 pole
Juni	18	-	Selective 3 pole
Juli	18	-	Selective 3 pole
Agustus	18	0.211 Ω	Selective 3 pole
September	18	-	Selective 3 pole
Oktober	18	-	Selective 3 pole
November			
Desember			

Sumber : Hasil pengecekan rutin PT. X

Pengukuran dan pendataan besar arus puncak yang mengalir pada konduktor penyalur petir juga dilakukan secara berkala. Pengukuran terakhir jatuh pada tanggal 5 Januari 2010 dengan hasil arus puncak petir 28,6 kA dengan probabilitaas 63% (sumber : vendor PT. X).

V.3 Kemungkinan orang berada di tempat berbahaya

Menara IT PT. X dilengkapi dengan fasilitas ruang shelter untuk kebutuhan operasional peralatan IT. Selain ruang shelter ada beberapa gedung lain yang berdekatan dengan menara IT untuk aktivitas administrasi dan utility. Jumlah rata-rata karyawan yang beraktivitas pada kedua ruang tersebut adalah 20 orang dengan lama waktu bekerja adalah 8 jam per hari.

Sehingga dapat dihitung kemungkinan orang berada di tempat berbahaya adalah

(Tri Suhartono, p. 2):

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{t}{8760}\right)^{32} \dots\dots\dots (6)$$

$$\delta = 1 - \left(1 - \frac{1920}{8760}\right)^{20}$$

$$\delta = 0,99$$

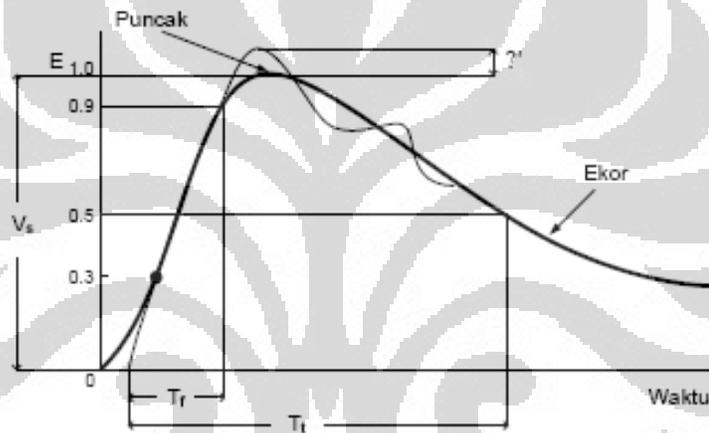
$$\delta = 99 \%$$

Dimana :

- δ : probabilitas orang berada di tempat bahaya
 t : jam kerja dalam ruangan per tahun (8 jam x 20 hari x 12 bulan) = 1920 jam
 n : jumlah orang berada di area menara 20 hari

V.4 Analisa efek tegangan petir pada sekitar menara IT

Bentuk gelombang arus petir dinyatakan dalam dua besaran yakni, waktu muka (T_f) yang menyatakan lamanya muka gelombang (*front duration*) dan kecuraman arus, serata waktu ekor (T_r).



Gambar 5.4 Bentuk gelombang impuls petir

Parameter arus puncak ini menentukan jatuh tegangan resistif pada tahanan pentanahan dan tahanan peralatan yang terkena sambaran. Selain itu juga, ikut menentukan kenaikan temperatur pada peralatan yang di sambar. Biasanya, nilai arus puncak ini yang digunakan dalam menyatakan suatu gelombang impuls petir, bersama-sama dengan dua besaran gelombang sebelumnya yaitu waktu muka (t_f) dan waktu ekor (t_r).

Menurut *Whitehead*, arus puncak ini menentukan jarak sambaran petir (*striking distance*), yang di ekspresikan dengan persamaan (*Tri Suhartono, p. 4*):

$$r = 8,0 \cdot I_{max}^{0,65} \quad (\text{meter}) \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

r : jarak sambaran petir (m)

I_{max} : arus puncak petir (kA)

Analisa kondisi aktual :

Diketahui bahwa arus maksimum yang telah terukur pada pita magnet sebesar 28,6 kA, sehingga dapat diketahui bahwa dari arus puncak tersebut ditemukan jarak sambaran petir. Sehingga dari analisa tersebut dapat diketahui sebagai jarak aman untuk kebutuhan yang akan ditempatkan pada area menara IT tersebut dapat dihitung menurut persamaan 7.

$$r = 8,0 \cdot I_{max}^{0,65}$$

$$r = 8 \times 28,6^{0,65}$$

$$r = 70,75 \text{ meter}$$

Dimana :

r : jarak sambaran petir (m)

I_{max} : arus puncak petir (kA)

Setelah diketahui jarak sambaran petir, maka area cakupan ekivalen untuk menara IT yang mempunyai Tinggi (h) 84 meter, Panjang (a) 6 meter dan Lebar (b) 6 meter dapat juga dihitung. Hal ini bertujuan supaya design menara IT yang sudah berdiri memang benar-benar sudah mempertibangkan besar arus maksimum yang akan mengalir pada konduktor pengangkal petir. Tentunya area cakupan ekivalen untuk menara petir harus bisa melindungi jarak sambaran petir. Oleh karena itu sangat perlu dilakukan penghitungan terhadap area cakupan ekivalen untuk menara IT (*Abdul Syakur, p. 5*).

$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots (8)$$

$$A_e = (6 \times 6) + 6 \times 84 (6+6) + 9\pi \times 84^2$$

$$A_e = 205486,56 \text{ m}^2$$

Dimana :

A_e : Area cakupan ekivalen menara m^2

a : Panjang kaki menara 6 m

b : Lebar kaki menara 6 m

h : Tinggi menara 84 m

Dari hasil perhitungan diatas, ditemukan bahwa luas cakupan ekuvalen menara IT sebesar $205486,56 \text{ m}^2$ atau dengan radius sebesar 255,81 meter. Sehingga dapat disimpulkan bahwa luas cakupan ekivalen menara IT masih dalam batas jarak sambaran petir sebesar 70,75 meter. Dan secara design, konstruksi penangkal petir sudah memenuhi persyaratan untuk proteksi peralatan terhadap sambaran petir.

Beban tegangan lebih (*over voltage*) karena adanya induksi dan pergeseran potensial yang terjadi pada sistem proteksi petir ketika ada sambaran petir. Beban tegangan lebih ini dirasakan oleh bagian-bagian dari objek yang dilindungi sistem proteksi petir tersebut.

Induksi ditimbulkan karena adanya medan magnet yang ditimbulkan di sepanjang penghantar yang dialiri arus petir. Besar intensitas induksi dipengaruhi dengan besar kecuraman maksimum arus petir atau $(di/dt) \text{ max}$. Dengan adanya medan magnet ini disekitar penghantar arus petir tersebut menimbulkan tegangan induksi pada titik-titik medan magnet tersebut dirasakan. Kuat medan magnet yang ditimbulkan arus petir pada penghantar penyalur dirasakan pada jarak r dinyatakan (Deni, R, p. 15, 2008):

$$H = \frac{i}{2\pi r} \quad \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

H : Medan magnet (A/m)

I : Arus maksimum petir (A)

r : Jarak penghantar penyalur petir dengan penghantar logam di area menara

Analisa kondisi aktual :

Diketahui bahwa r jarak antara penghantar logam dengan penghantar penyalur memiliki jarak minimum dan jarak maksimum, dikarenakan peletakan jalur penghantar penyalur ditempatkan di dalam konstruksi menara IT. Sehingga ditemukan kuat medan magnet yang ditimbulkan arus petir pada penghantar penyalur yang dapat dihitung berdasarkan persamaan 9 adalah :

$$H = \frac{28,6}{2 \times \pi \times 0,1}$$

$$H = 45,54 \text{ kA/m} \quad (\text{ik minimum } r \text{ 0,1 meter diasumsikan jarak terdekat})$$

$$H = \frac{28,6}{2 \times \pi \times 6}$$

$$H = 0,759 \text{ kA/m} \quad (\text{ik maksimum } r \text{ 6 meter diasumsikan jarak terjauh ruang shelter})$$

dimana :

H = kuat medan magnet [kA / m]

I = arus petir [kA]

r = jarak antara penghantar logam dengan penghantar penyalur [m]

Medan magnet yang terjadi pada titik r tersebut (*Deni, R, p. 15, 2008*): :

$$H = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi r} \dots\dots\dots(10)$$

$$H = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 28,6}{2 \times \pi \times 0,1}$$

$$H = 5,72.10 \text{ kA/m} \quad (\text{untuk } r = 0,1 \text{ meter})$$

$$H = 0,0572 \text{ A/m}$$

V.5 Beban tegangan langkah dan tegangan sentuh

Manusia merupakan bagian objek yang juga harus dilindungi, dalam hal ini selain gedung yang dilindungi, karyawan yang bekerja di gedung tersebut juga harus terlindungi baik dari sambaran langsung maupun tidak langsung. Efek dari penyaluran arus petir yang harus diperhatikan adalah manusia tanpa sengaja juga terkena efeknya yaitu terkena “kejut listrik” ketika berada di sekitar instalasi penyalur arus petir saat sistem proteksi petir ini sedang bekerja, bahkan tanpa disadari dalam keadaan menyentuh salah satu komponennya (biasanya penghantar penyalur). Peristiwa pertama dinamakan efek tegangan langkah sedangkan kedua dinamakan efek tegangan sentuh.



Gambar 5.5 Fenomena tegangan langkah dan tegangan sentuh

Fenomena petir yang merupakan fenomena tegangan dan arus tinggi yang jelas memberikan dampak baik fisik maupun mental manusia. Jika fenomena ini tidak terproteksi dengan sistem proteksi yang baik, maka akan memberikan

dampak buruk bagi fisik manusia. Menurut Golde, seseorang yang terkena sambaran petir dapat dikelompokkan atas situasi dan kondisi pada saat insiden ini terjadi, yaitu :

- Sambaran Samping : Ketika petir menyambar suatu benda di bumi sedemikian sehingga ada sebagian arus yang melompat dari benda tersebut ke manusia yang berada di dekat benda tersebut.
- Tegangan Langkah : Ketika kondisi tanah didaerah tersebut memiliki nilai tersistansi yang seragam atau merata, sehingga arus petir yang menyambar akan menimbulkan beda potensial ditanah. Sehingga orang yang berada di daerah tersebut menimbulkan beda potensial antara dua kaki manusia.

Besar tegangan langkah dapat dihitung dengan :

$$U = I \frac{\rho}{2 \times \pi} \times \frac{s}{d(d+s)} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

U = Tegangan langkah (V)

I = Amplitudo arus petir (A)

ρ = Resistivitas tanah (Ω -m)

s = Jarak kedua kaki yang terjauh (m)

d = Jarak kaki terdekat dengan titik aliran arus petir di bumi (m)

Dari persamaan diatas maka dapat dihitung besar tegangan langkah dari titik terdekat dengan penghantar penangkal petir sampai dengan titik terjauh yang masih dalam batas cakupan ekivalen pengangkal petir. Hal ini juga dipertimbangkan sesuai dengan jarak arus sambaran petir pada area tersebut. Rata-rata panjang langkah orang Indonesia adalah 0,5 meter (<http://health.kompas.com/read/2011/09/13/15112190/>).

$$U = I \frac{\rho}{2 \times \pi} \times \frac{s}{d(d+s)}$$

$$U = 28600 \frac{58,8}{2 \times 3,14} \times \frac{0,5}{0,1(0,1+0,5)}$$

$$U = 231528,66 \text{ Volt}$$

Dimana :

U = Tegangan langkah (Volt)

I = Amplitudo arus petir 28600 A

ρ = Resistivitas tanah 58,8 Ω -m

s = Jarak kedua kaki yang terjauh 0,5 m

d = Jarak kaki terdekat dengan titik aliran arus petir di bumi 0,1 m

Dari simulasi diatas ditunjukkan besar tegangan langkah pada jarak terdekat tanpa *grounding system*.

Besar tegangan langkah berdasarkan jangkauan arus petir yang dihasilkan, maka dapat disimulasikan sebagai berikut :

$$U = I \frac{\rho}{2 \times \pi} \times \frac{s}{d(d+s)}$$

$$U = 28600 \frac{65,4}{2 \times 3,14} \times \frac{0,5}{75(75+0,5)}$$

$$U = 26,30 \text{ Volt}$$

Diketahui :

I = Amplitudo arus petir 28600 A

ρ = Resistivitas tanah 65,4 Ω -m

s = Jarak kedua kaki yang terjauh 0,5 m

d = Jarak kaki terdekat dengan titik aliran arus petir di bumi 75 m

Sedangkan besar tegangan langkah berdasarkan cakupan ekivalen penangkal petir, maka dapat disimulasikan sebagai berikut :

$$U = I \frac{\rho}{2 \times \pi} \times \frac{s}{d(d+s)}$$

$$U = 28600 \frac{72,6}{2 \times 3,14} \times \frac{0,5}{260(260+0,5)}$$

$$U = 2,44 \text{ Volt}$$

Diketahui :

I = Amplitudo arus petir 28600 A

ρ = Resistivitas tanah 72,6 Ω -m

s = Jarak kedua kaki yang terjauh 0,5 m

d = Jarak kaki terdekat dengan titik aliran arus petir di bumi 260 m

Dari ketiga simulasi diatas adalah tegangan langkah yang dihasilkan petir tanpa *grounding system*. Dapat disimpulkan bahwa jarak terjauh sesuai cakupan ekivalen penangkal petir, tegangan yang dihasilkan masih berpotensi untuk menimbulkan kerusakan pada peralatan elektronik.

Simulasi tegangan langkah juga dapat dilihat pada sistem yang sudah menggunakan *grounding sistem*.

$$U = 28600 \frac{0,202}{2 \times 3,14} \times \frac{0,5}{5(5+0,5)}$$

$$U = 16,73 \text{ Volt}$$

Dari data diatas terlihat jelas bahwa besar tegangan langkah tanpa menggunakan *grounding sistem* sangat jauh berbeda dengan menggunakan *grounding system*. Namun untuk kondisi aktual diketahui jarak penghantar penangkal petir ke ruang shelter hanya berjarak 5 meter. Tegangan langkah yang dihasilkan untuk jarak 5 meter dengan *grounding system* yang sudah terpasang sebesar 16,73 Volt. Perbedaan tegangan langkah tanpa *grounding system* dengan yang sudah menggunakan *grounding sistem* terlihat jelas pada tabel 5.2

Tabel 5.2 Hasil perhitungan besar tegangan langkah akibat gangguan petir

Jarak d (meter)	Resistansi(Ω)		Tegangan Langkah (V)	
	Tanah	Sistem pentanahan	Tanah	Sistem pentanahan
0.1	58.8	0,202	2.231.528,66	7.666,14
5	84.4	0,202	6.988,54	16,73
10	45.2	0,202	980,22	4,38
15	64.8	0,202	634,64	1,98
20	66.2	0,202	367,66	1,12
25	116.6	0,202	416,48	0,72
30	87.9	0,202	218,75	0,30
35	68.8	0,202	126,09	0,37
40	69.9	0,202	98,25	0,28
45	76.2	0,202	84,74	0,22
70	100	0,202	46,14	0,09
75	65,4	0,202	26,30	0,08
100	100	0,202	22,66	0,05
260	72,6	0,202	2,44	0,01

V.6 Efek tegangan induksi sambaran tidak langsung pada penangkal petir

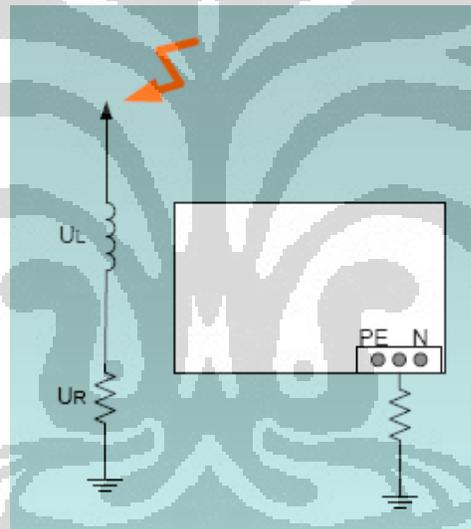
Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi merupakan sambaran di titik lain yang letaknya jauh tetapi objek terkena pengaruh dari sambaran sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada objek tersebut.

Sambaran induksi dapat terjadi bila awan petir ada diatas peralatan yang berisolasi. Awan ini akan menginduksikan muatan listrik dalam jumlah besar dengan polaritas yang berlawanan dengan awan petir itu. Hal ini akan menimbulkan muatan terikat. Bila terjadi pelepasan muatan dari awan petir itu,

maka muatan terikat itu kembali bebas dan menjadi gelombang berjalan. Hal inilah yang disebut dengan fenomena transien pada saluran dengan kata lain bila terdapat sebuah petir yang menyambar ke tanah di dekat saluran maka akan menjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis ke kanal petir. Akibat dari kejadian ini akan timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada saluran kabel peralatan yang berada di dekat sambaran terjadi.

5.6.1 Perhitungan sambaran langsung pada penangkal petir

Tegangan induksi yang dihasilkan pada tahanan grounding pengangkal petir (<http://aydinhari.wordpress.com/>, p. 12).



Sumber : <http://aydinhari.wordpress.com/>

Gambar 5.6 Ekuivalen rangkaian efek sambaran langsung penangkal petir

$$U = U_R + U_L \, di/dt \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$U = I \times R + U_L \, di/dt \quad \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

U : Tegangan induksi efek sambaran langsung (Volt)

U_R : Tegangan pada sistem pentanahan (Volt)

$U_L \, di/dt$: Tegangan pada penghantar penyalur petir (Volt)

I : Arus maksimum petir (A)

R : Tahan sistem pentanahan (Ω)

Dari data hasil ukur diketahui bahwa arus maksimal petir I adalah 28,6 kA dan kecuraman petir 3,06 kA/ μ s. Sedangkan besar resistansi sistem pentanahan yang diukur adalah 0,202 ohm.

Untuk bahan konduktor tembaga sebagai penyalur arus petir, maka induktansi bahan sebesar 1 μ H per meter. Sehingga data dari tinggi menara didapat jumlah total induktansi sebesar 84 x 10⁻⁶ H. Dari persamaan 13 maka dapat dihitung tegangan induksi pada tahanan grounding penangkal petir adalah :

$$U = I \times R + U_L \text{ di/dt}$$

$$U = 28600 \text{ A} \times 0,202 \text{ ohm} + 84 \times 10^{-6} \text{ H} \times 3060 \text{ A}/\mu\text{s.}$$

$$U = 262,817 \text{ kV}$$

Dimana :

U : Tegangan induksi efek sambaran langsung (Volt)

$U_L \text{ di/dt}$: Tegangan pada penghantar penyalur petir 84 x 10⁻⁶ H x 3060 A/ μ s (Volt)

I : Arus maksimum petir 28600 A

R : Tahan sistem pentanahan 0,202 Ω

5.6.2 Perhitungan tegangan induksi sambaran petir tidak langsung pada jarak tertentu

Tegangan induksi yang terjadi merupakan tegangan akibat adanya fenomena kopling. Diasumsikan bahwa menara berada pada sumbu y positif berupa suatu penghantar tegak lurus dengan bidang x. Arus petir diasumsikan menyambar pada menara didistribusikan atau pada grounding kawat tanah. Tegangan induksi yang terjadi adalah akibat medan magnetik dan medan listrik akibat arus petir yang mengalir pada menara dan menuju ke pentanahan (Augusta W.A, p. 2)

$$U_{max} = \frac{Z_o I_o h}{d} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \frac{1}{\sqrt{1 - 0,5\beta^2}} \right) \dots\dots\dots(14)$$

dengan

$$Z_o = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\mu_o}{\epsilon_o}} = 30 \Omega \dots\dots\dots(15)$$

U_{max} = tegangan puncak induksi petir (volt)

Z_o = impedansi pada ruang hampa (ohm)

- I_o = arus puncak petir (kA)
 d = jarak antar menara dengan konduktor logam (m)
 h = tinggi tiang menara (m)
 β = rasio antara kecepatan sambaran balik dan kecepatan cahaya
 μ_o = permeabilitas magnet ruang hampa ($1,26 \times 10^{-6}$ H/m)
 ϵ_o = permivitas ruang hampa ($8,85 \times 10^{-12}$ F/m)

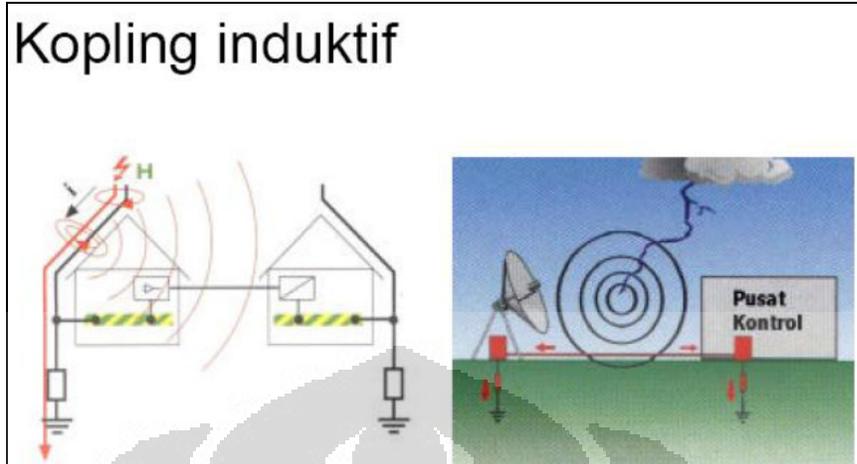
Kecepatan sambaran balik berkisar antara 2,9.107 sampai 24.107 m/s. Sedangkan besarnya kecepatan cahaya adalah 3.108 m/s. Jadi besarnya nilai β berkisar antara 0,1 – 0,8. Pada kasus ini nilai β diambil nilai terbesar yaitu 0,8, hal diasumsikan supaya menghasilkan tegangan puncak induksi petir maksimum.

Pada skripsi ini ada parameter yang ditetapkan yaitu tinggi menara (84 meter), kecepatan cahaya (3×10^8 m/s) dan jarak antara menara dengan instalasi peralatan listrik (5-20 m).

Dari persamaan 14 diatas maka dapat dihitung tegangan induksi pada jarak tertentu, misalnya tegangan induksi yang dihasilkan dengan jarak 5 m dari titik referensi atau titik dimana arus petir disalurkan. Maka tegangan induksinya adalah

$$\begin{aligned}
 U_{max} &= \frac{Z_o I_o h}{d} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} \beta \frac{1}{\sqrt{1 - 0,5\beta^2}} \right) \\
 U_{max} &= \frac{30 \times 28,6 \times 84}{5} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}} 0,8 \frac{1}{\sqrt{1 - 0,5 \times 0,8^2}} \right) \\
 U_{max} &= 24,388 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

- U_{max} = tegangan puncak induksi petir (kV)
 Z_o = impedansi pada ruang hampa 30Ω
 I_o = arus puncak petir 28,6 kA
 d = jarak antar menara dengan konduktor logam 5 m
 h = tinggi tiang menara 84 m
 β = rasio antara kecepatan sambaran balik dan kecepatan cahaya 0,8
 μ_o = permeabilitas magnet ruang hampa $1,26 \times 10^{-6}$ H/m
 ϵ_o = permivitas ruang hampa $8,85 \times 10^{-12}$ F/m

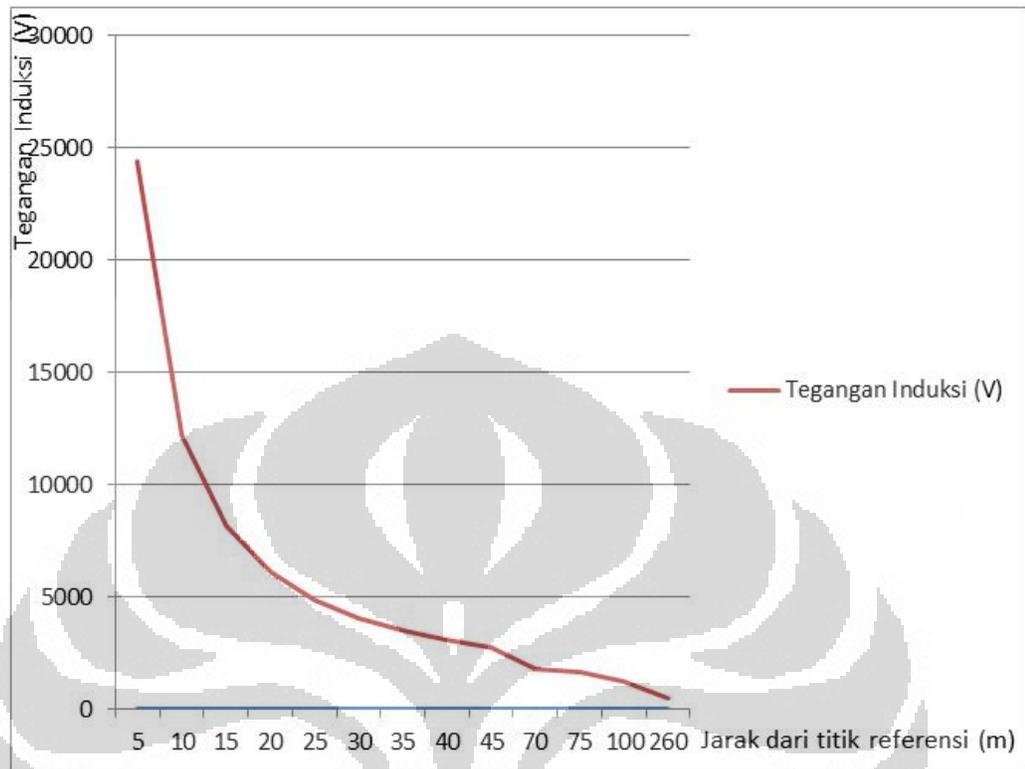


Sumber : <http://aydinhari.wordpress.com/>

Gambar 5.7 Ekivalen rangkaian tegangan induksi dari penangkal petir

Tabel 5.3 Penghitungan tegangan induksi

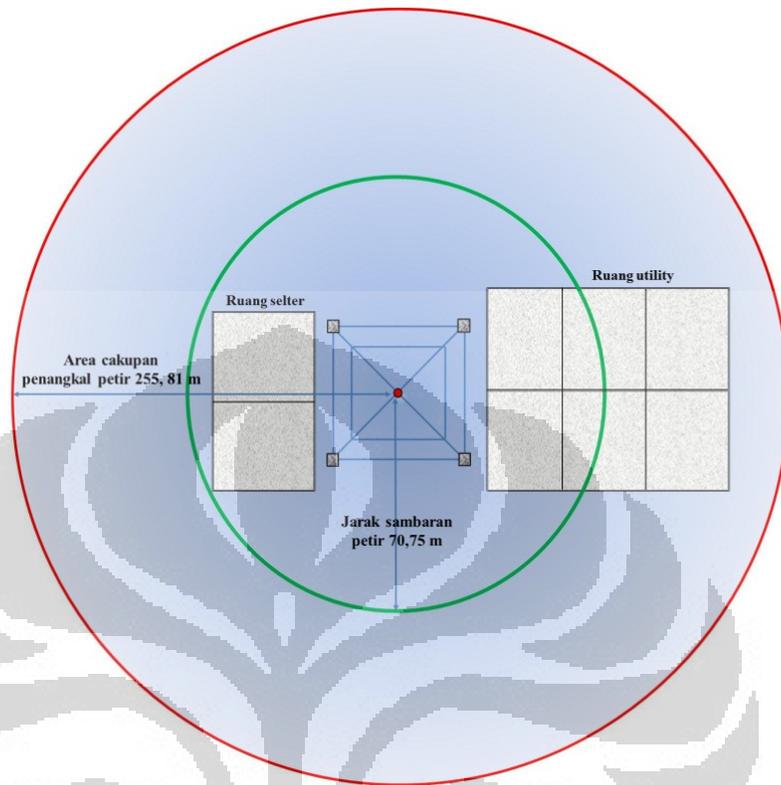
No.	Jarak dari titik referensi (m)	Tegangan Induksi (V)
1	5	24.388.038
2	10	12.194.019
3	15	8.129.346
5	20	6.097.009
6	25	4.877.608
7	30	4.064.673
8	35	3.484.005
9	40	3.048.505
10	45	2.709.782
11	70	1.742.003
12	75	1.625.869
13	100	1.219.402
14	260	469.001



Gambar 5.8 Grafik tegangan induksi berdasarkan jarak dari titik referensi

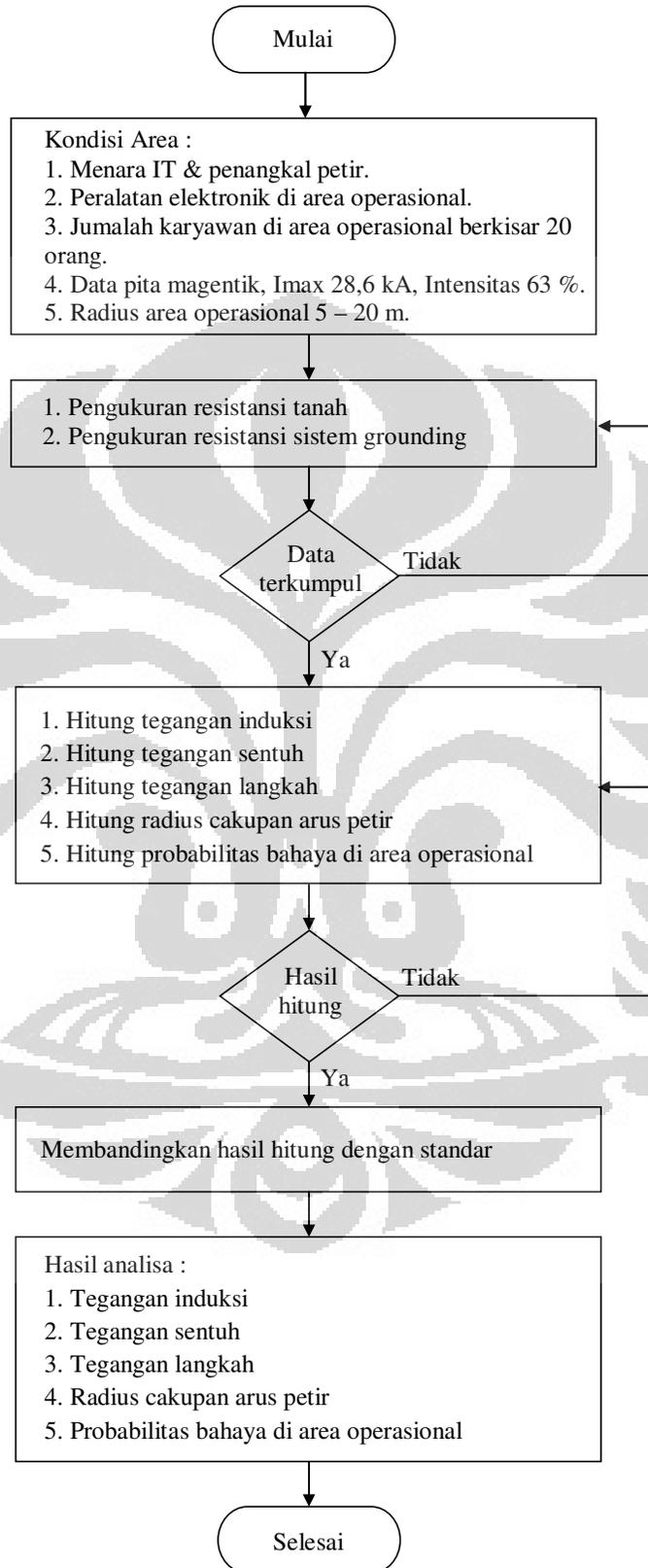
Tegangan batas aman manusia menurut PUIL adalah sebesar 50 volt dan batas arus aman adalah 50 mA. Sedangkan tahanan tubuh manusia rata-rata adalah 1000 ohm. Dari data diatas dapat dibuktikan bahwa batas tegangan tubuh manusia adalah sebesar $U_B = R_K \cdot I_K$ (50 Volt).

Dari tabel hasil penghitungan diatas maka dapat diasumsikan bahwa tegangan induksi yang dihasilkan dapat merusak peralatan elektronik di area menara IT.



Gambar 5.9 Sebaran tegangan induksi disekitar menara IT

5.7 Algoritma prosedur analisa dan pengukuran



BAB VI

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengukuran ditemukan besar resistansi tanah rata-rata pada area menara adalah 84,5 ohm.
2. Tegangan langkah yang disebabkan oleh sambaran petir dengan resistansi tanah yaitu sebesar 2.231.528,66 Volt jauh lebih besar dengan tegangan langkah pada resistansi sistem pentanahan yaitu sebesar 7.666,14 Volt masing-masing 0.1 meter dari titik referensi.
3. Hasil perhitungan tegangan induksi yang dihasilkan akibat sambaran petir yaitu sebesar 24.388.038 Volt jauh melebihi batas tegangan aman pada manusia 50 Volt.
4. Perubahan nilai tegangan induksi karena petir terhadap jarak mengikuti fungsi hiperbolik, dimana jarak 5 m dari titik referensi menghasilkan tegangan induksi 24.388.038 Volt jauh lebih kecil dengan jarak 260 m dari titik referensi dengan tegangan induksi 469.001 Volt.
5. Dari hasil analisa ditemukan bahwa untuk memperkecil efek tegangan induksi akibat sambaran petir terhadap peralatan elektronika di sekitar menara, maka diharapkan jarak penempatan peralatan elektronika semakin jauh dari menara IT maka efek tegangan induksi juga semakin kecil.
6. Berdasarkan hasil analisa untuk mengurangi probabilitas bahaya keselamatan jiwa akibat gangguan petir pada area operasional menara IT maka diharapkan jumlah karyawan yang beraktivitas di area menara tersebut kurang dari 20 orang (99 %).

DAFTAR ACUAN

1. Reynaldo Zoro, *Induksi dan Konduksi Gelombang Elektromagnetik Akibat Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Rendah*, Bandung, 2009.
2. Diah Permata dan Nining Purwasih, *Pengaruh Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi pada Tower BTS*, Lampung, 2009.
3. Abdul Syakur dan Yuningtyastuti, *Sistem Proteksi Penangkal Petir pada Gedung*, Semarang.
4. Soli Akbar Hutagaol, *Studi Tentang Sistem Penangkal Petir pada BTS*, Medan, 2009.
5. Yopie Mafudin, *Simulasi Perhitungan Kebutuhan Perlindungan Peralatan Komputer Akibat Sambaran Petir*, Semarang.
6. Taufiq Alif Kurniawan, dkk., *Sistem Proteksi Petir Internal dan Eksternal*, Jakarta.
7. Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004), *Sistem Proteksi Petir pada Bangunan*.
8. Deni Rhamdanin, *Peran Sistem Pentanahan Terhadap Sistem Proteksi Petir*, Jakarta, 2008.
9. Tri Suhartono, *Penentuan Kebutuhan Proteksi Petir Pada Gedung*, Semarang.
10. Per. 02/MEN/1989, *Pengawas Instalasi Penyalur Petir*.
11. http://www.lightningsafety.com/nlsi_11s.html
12. <http://aydinhari.wordpress.com/>

LAMPIRAN

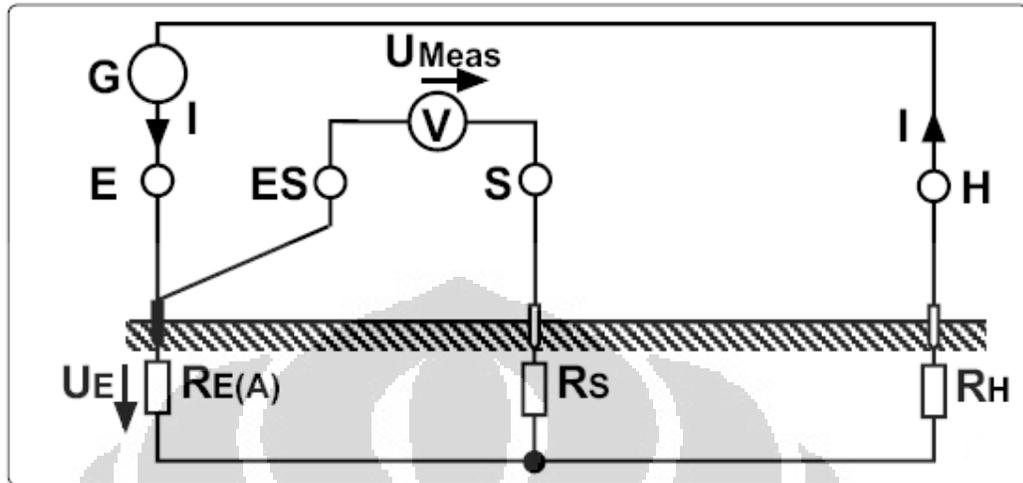
Hasil Pengukuran Tahanan Tanah Pada Penangkal Petir

No	T1 dari Grounding Tower	T2 dari Grounding Tower	T2 dari Grounding Tower	Hasil Ukur (Ω)				
				R_E (Ω)	R_H (k Ω)	R_S (k Ω)	U_{ST} (V)	F (Hz)
1	0	20	40	58.8	0.0	0.2	0.4	111
2	5	25	45	84.4	0.1	0.2	0.4	128
3	10	30	50	45.2	0.1	0.1	0.4	111
4	15	35	55	64.8	0.0	0.1	0.5	111
5	20	40	60	66.2	0.1	0.1	0.5	94
6	25	45	65	116.6	0.1	0.1	0.4	111
7	30	50	70	87.9	0.1	0.1	0.5	111
8	35	55	75	68.8	0.1	0.1	0.4	94
9	40	60	80	69.9	0.0	0.1	0.3	111
10	45	65	85	76.2	0.0	0.1	0.3	94
11	75	95	115	65.4	0.1	0.1	0.5	111
12	260	280	300	72,6	0.1	0.1	0.4	94

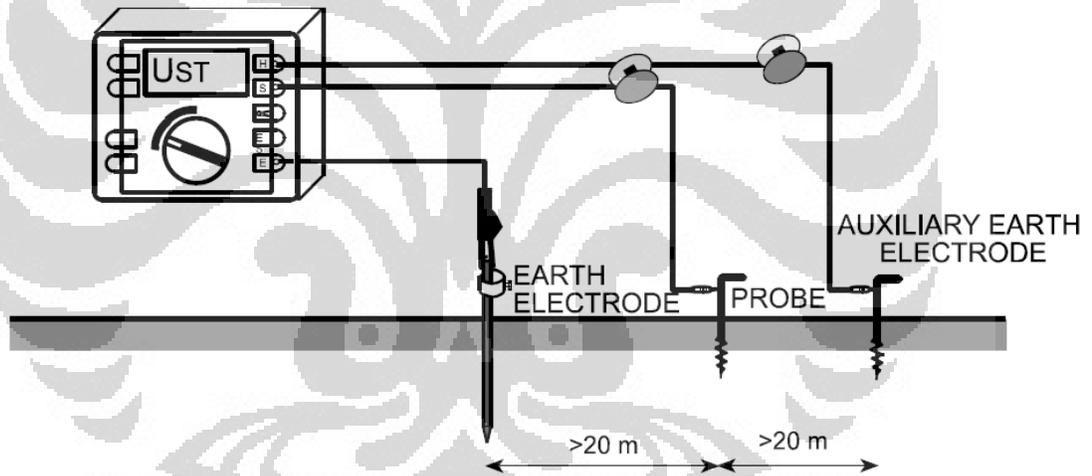
Hasil Pengukuran Kabel Sistem Pentanahan

Resistansi Kabel Grounding		Hasil Ukur (Ω)				
No.	Titik Pengukuran	R_E (Ω)	R_H (k Ω)	R_S (k Ω)	U_{ST} (V)	F (Hz)
1	Kaki tower 1	0.205	0.1	0.1	0.3	111
2	Kaki tower 2	0.202	0.1	0.1	0.3	111
3	Kaki tower 3	0.204	0.1	0.1	0.3	111
4	Kaki tower 4	0.204	0.1	0.1	0.3	111
5	Grounding gedung	0.203	0.1	0.1	0.3	111

METODA PENGUKURAN



Skema Pengukuran Resistansi



Wiring Metode Pengukuran Sistem 3 Pole

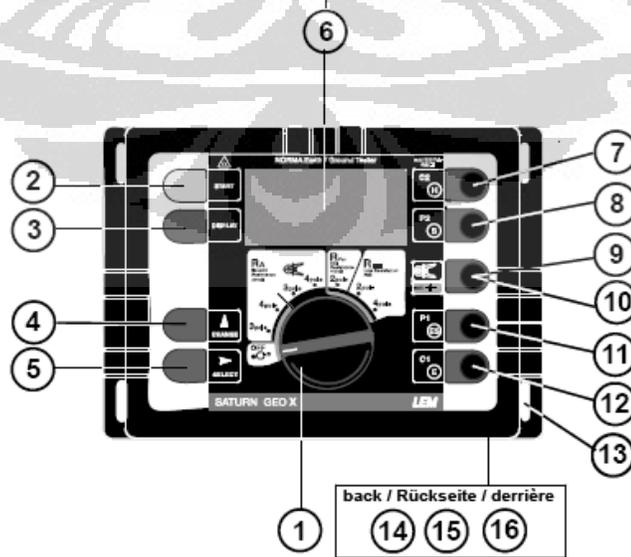
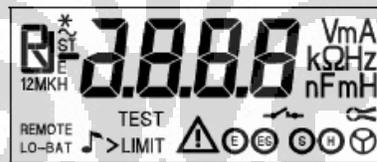
ALAT UKUR

Operating Instructions

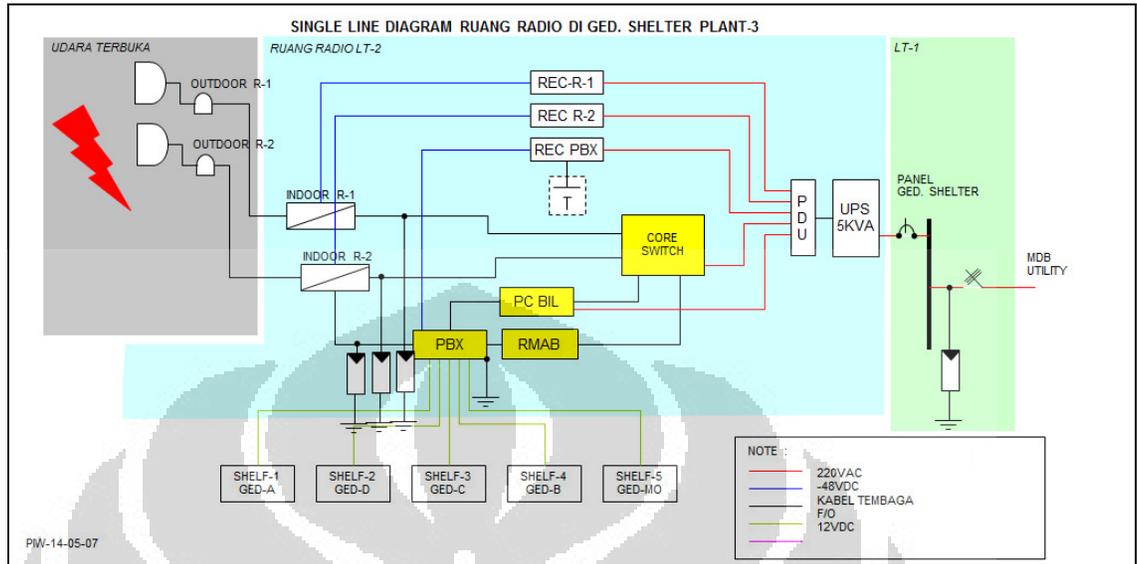
EARTH GROUND TESTER



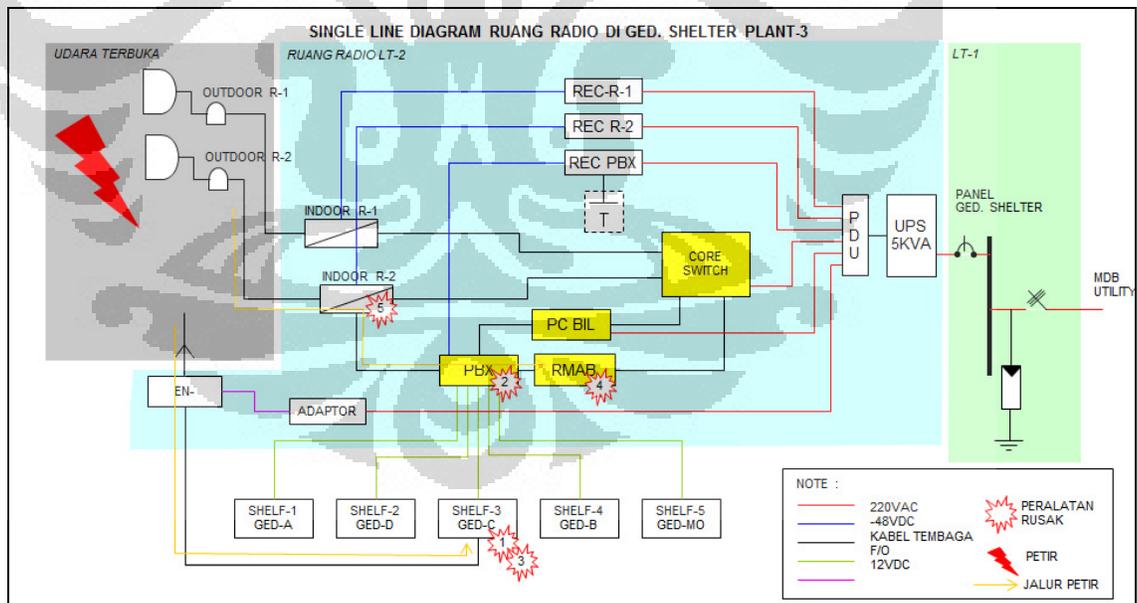
SATURN GEO X



SINGLE LINE DIAGRAM PERALATAN IT



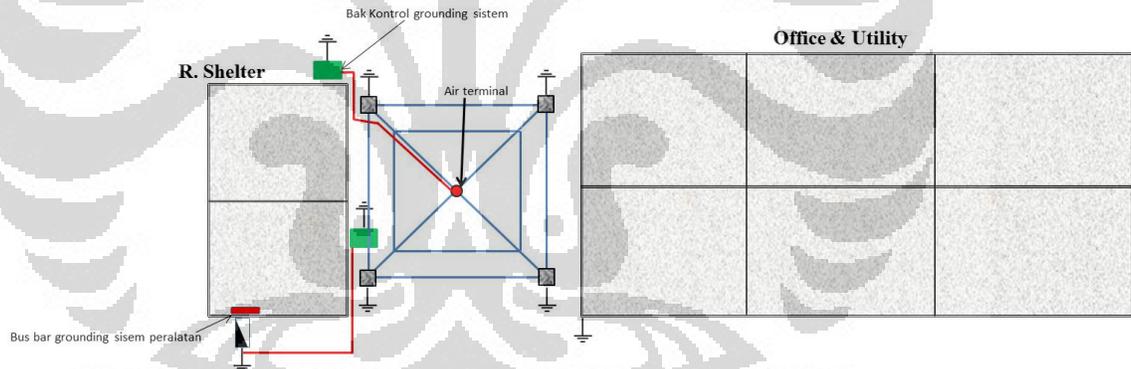
POSISI KERUSAKAN AKIBAT SAMBARAN PETIR



KERUGIAN AKIBAT SAMBARAN PETIR

Kerugian pada peralatan IT akibat petir di PT.X											
Lokasi	Gedung	Ruang	Tgl	Jam	No	Barang yang rusak	Qty	Harga satuan		TOTAL	TOTAL / Plant
								Rp	USD		
Plant-1	Ged. Lama	R. Server It-4	1-Nov-05	13:00	1	Gas FM200 Ruang Server S-1	1	80.000.000		80.000.000	125.273.200
	Ged. Lama	R. PBX	29-Nov-05	18:00	2	Card PBX Ericsson NIU2 (Network Interface Unit)	1		1.119	10.294.800	
	Ged. Lama	R. PBX	29-Nov-05	18:00	3	Card PBX Ericsson NIS2 (Network Interface Firmware)	1		2	18.400	
	Ged. Lama	R. Panel It-1	24-Apr-06	19:00	4	Cisco System Catalyst 2900 series XL	1		3.000	27.600.000	
	Ged. Lama	Auditorium	24-Apr-06	19:00	5	Cisco System Aironet 350 series	1		800	7.360.000	
	Ged. Lama	Auditorium	24-Apr-06	19:00	6	AC Adaptor Cisco System Aironet 350 series	1		-	-	
DMD											
Plant-2	Ged. Shelter	Menara	25-Apr-07	17:30	1	Outdoor Radio-1	1				
		R. Server			2	Indoor Radio-1	1				
		R. Server			3	Indoor Radio-2	1				
TCK	Ged. PC										
Plant-3	Ged. C	RD-C	15-Feb-07	11:45	1	Card PBX e232	1		1.717	15.796.400	51.802.300
	Ged. Shelter	R. Radio It-2	15-Feb-07	11:45	2	MDD 60 GB merk Fujitsu, model MHV2060AH	2	600.000		1.200.000	
	Ged. C	RD-C	9-Mar-07	21:00	3	Card PBX e232	1		1.717	15.796.400	
	Ged. Shelter	R. Radio It-2	9-Mar-07	21:00	4	Card PBX RMA8	1		1.466	13.489.500	
	Ged. Shelter	R. Radio It-2	9-Mar-07	21:00	5	Indoor Radio-2, card E1 Wayside channel module	1		600	5.520.000	
										TOTAL	177.075.500

SISTEM PENTANAHAN EKSTING



PROSES PENGUKURAN

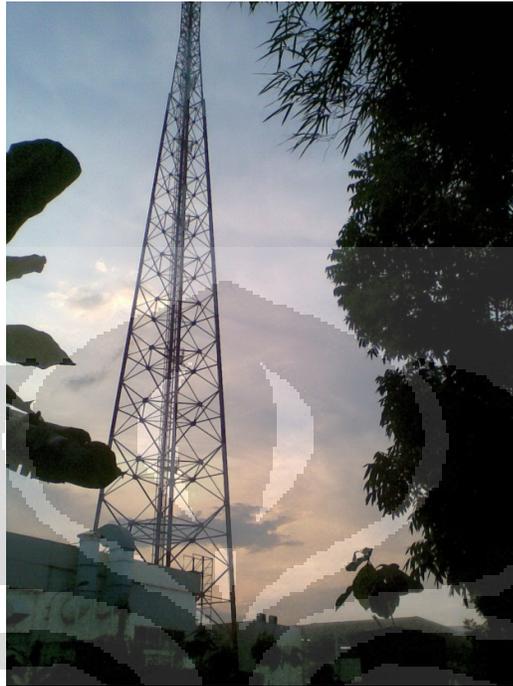


Foto Menara



Alat ukur



Saat pengukuran resistansi tanah



Posisi Grounding System