

**STUDI EVALUASI SISTEM TERMINASI UDARA
PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE
BOLA BERGULIR, SUDUT PERLINDUNGAN DAN
METODE JALA**

SKRIPSI

Oleh

Habib Prabandoko
04 03 03 048 9



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**STUDI EVALUASI SISTEM TERMINASI UDARA PADA GEDUNG
BERTINGKAT DENGAN METODE BOLA BERGULIR, SUDUT
PERLINDUNGAN DAN METODE JALA**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 18 Juli 2008

Habib Prabandoko

04 03 03 048 9

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul:

STUDI EVALUASI SISTEM TERMINASI UDARA PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN METODE BOLA BERGULIR, SUDUT PERLINDUNGAN DAN METODE JALA

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 4 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 18 Juli 2008

Dosen Pembimbing,

Ir. I Made Ardita, MT.
NIP. 131 597 847

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kehadiran ALLAH SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

Ir. I Made Ardita, MT.

Selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan saran, bimbingan, pengarahan, dan kemudahan lain dalam penyelesaian skripsi ini. Terima kasih pula kepada seluruh anggota keluarga dan rekan-rekan semua yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Habib Prabandoko

NPM 04 03 03 048 9

Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Ir. I Made Ardita, MT

**STUDI EVALUASI SISTEM TERMINASI UDARA PADA GEDUNG
BERTINGKAT DENGAN METODE BOLA BERGULIR, SUDUT
PERLINDUNGAN DAN METODE JALA**

ABSTRAK

Petir telah menjadi bagian dari hidup manusia sejak awal masa, dan dengan semakin bergantungnya kehidupan manusia terhadap peralatan yang rentan terhadap petir maka perlindungan terhadap petir pun menjadi semakin penting. Sistem perlindungan petir eksternal memberikan perlindungan kepada bangunan dari sambaran petir langsung, dan salah satu komponen yang paling penting dari sistem ini adalah terminasi udara.

Tujuan dari skripsi ini adalah mengevaluasi kinerja tiga metode yaitu metode bola bergulir, sudut perlindungan dan metode jala, yang biasa digunakan dalam menentukan posisi terminasi udara, yang kemudian akan menentukan daerah proteksi dari sistem perlindungan petir eksternal. Selain itu, skripsi ini juga akan mengevaluasi penempatan terminasi udara pada sistem perlindungan petir eksternal di gedung Departemen Elektro FTUI.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa gedung Departemen Elektro FTUI membutuhkan pergantian sistem terminasi udara atau perubahan posisi terminasi udara agar memiliki sistem perlindungan petir eksternal yang lebih efektif.

Kata Kunci : Sistem Terminasi Udara, Bola Bergulir, Sudut Perlindungan, Metode Jala.

Habib Prabandoko

Counsellor

NPM 04 03 03 048 9

Ir. I Made Ardita, MT.

Electrical Engineering Departement

**APPLICATION EVALUATION STUDY OF *ROLLING SPHERE*,
PROTECTION ANGLE AND *MESH METHOD* ON
AN AIR TERMINATION SYSTEM**

ABSTRACK

Lightning has been a part of humankind since the dawn of time, and with the ever increasing dependance of lightning effect, both to direct or indirect, sensitive equipment, lightning protection has been also an important part of a building. External Lightning Protection Systems gives building some degree of protection from direct lightning strike, and one of the most important part of such system is the air termination. So it is imperative for the designer to ensure that the whole part of the building is well protected inside the protection zone of the air termination systems.

The purpose of this paper is to evaluate the performance of the usual method used to determine the position of the air termination device, which in turn will define the protection zone of the external lightning protection system. The three methods are the Rolling Sphere method, the Protection Angle, and the Mesh method. In addition, the paper will also evaluate the positioning of air termination in Electrical Engineering Departement building using those methodes mentioned.

The result shows that the Electrical Engineering Departement building needs an air termination system configuration replacement or at least a change in air rods position, so that an effective External Lightning Protection Systems can be achieved.

Keywords : *Air Termination System, Rolling Sphere, Protection Angle, Mesh Methods.*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 TUJUAN	2
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 TEORI PETIR	4
2.1.1 Karakteristik Petir	4
2.1.2 Hari Guruh	10
2.1.4 Kerusakan akibat Petir	10
2.2 SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL	11
2.2.1 Jenis sistem proteksi petir eksternal	12
2.2.2 Konsekuensi kerja sistem proteksi petir.	13
2.2.3 Efek- efek lain dari fenomena sambaran petir.	14
2.2.4 Efek kerja sistem proteksi petir terhadap sistem yang dilindunginya.	14
2.3 Pertimbangan rancangan SPP eksternal	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Metode <i>Rolling Sphere</i>	16
3.1.2 <i>Tingkat Perlindungan Petir pada Metode Bola Bergulir</i>	18
3.1.3 <i>Aplikasi Penentuan Posisi Final Menggunakan Metode Bola Bergulir</i>	20
3.1.4 <i>Penerapan Proteksi menggunakan Metode Bola Bergulir</i>	21
3.2 Metode Sudut Perlindungan (<i>Protective Angle Methode</i>)	25
3.3 Metode Jala	30
BAB 4 ANALISIS SISTEM TERMINASI UDARA	31
4.1 Perkiraan Resiko	31
4.1.1 <i>Penentuan tingkat resiko</i>	31
4.1.2 <i>Analisis Penentuan Tingkat Proteksi pada Gedung Dept. Elektro FTUI32</i>	
4.2 Analisis posisi terminal udara dengan menggunakan metode Bola Bergulir	33
4.3 Analisis sistem terminasi udara dengan menggunakan metode Sudut Perlindungan	36
4.4 Analisis sistem terminasi udara dengan menggunakan metode Jala	38
4.6 Saran untuk perbaikan sistem perlindungan petir eksternal pada gedung Dept. Elektro FTUI	41
BAB 5 KESIMPULAN	43
DAFTAR ACUAN	44
DAFTAR PUSTAKA	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Data IKL Indonesia periode 1991 – 2006	1
Gambar 2.1 <i>Heat Storm</i>	5
Gambar 2.2 <i>Frontal Storm</i>	5
Gambar 2.3 Pemisahan Muatan	6
Gambar 2.4 Sambaran Turun (sambaran awan ke bumi)	7
Gambar 2.5 Proses terjadinya sambaran petir	8
Gambar 2.6 Beberapa jenis sambaran petir	9
Gambar 2.7 Sambaran naik (bumi ke awan)	9
Gambar 2.8 Contoh kerusakan akibat petir	10
Gambar 2.9 Sistem Perlindungan Petir Eksternal	12
Gambar 3.1 Metode – metode untuk menentukan posisi terminasi udara	16
Gambar 3.4 Perkembangan Perintis Kebawah (<i>Downward Leader</i>)	17
Gambar 3.5 Perkembangan Langkah Terakhir (<i>Last Step</i>)	17
Gambar 3.6 Jarak Sambaran	18
Gambar 3.7 Contoh penerapan metode Bola Bergulir	21
Gambar 3.8 Contoh penerapan metode Bola Bergulir pada bangunan dengan konstruksi rumit	21
Gambar 3.9 Kedalaman penetrasi p dari bola bergulir.	22
Gambar 3.10 Sistem proteksi udara untuk SPP atap dengan daerah perlingungannya.	23
Gambar 3.11 Perhitungan Δh untuk beberapa tiang udara berdasarkan metode bola bergulir.	25
Gambar 3.12 Penurunan Sudut Perlindungan dari metode Bola Bergulir	25
Gambar 3.13 Pembatasan metode Sudut Perlindungan	26
Gambar 3.14 Daerah perlindungan berbentuk kerucut	28
Gambar 3.15 Daerah yang terlindungi oleh konduktor terminasi udara.	28
Gambar 3.16 Contoh sistem terminasi udara dengan sudut perlindungan α	29
Gambar 3.17 Sistem perlindungan petir eksternal, terlindungi secara volume oleh <i>finial</i> tegak.	29

Gambar 3.18 Sistem penghentian udara jala.	30
Gambar 4.1 Metode Bola Bergulir pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)	34
Gambar 4.2 Metode Bola Bergulir pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)	35
Gambar 4.3 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)	36
Gambar 4.4 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)	37
Gambar 4.5 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Atas)	37
Gambar 4.6 Metode Jala pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)	38
Gambar 4.7 Metode Jala pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)	39
Gambar 4.8 Penerapan metode bola bergulir pada gedung yang telah diberi sistem terminasi udara dengan metode jala.	41
Gambar 4.9 Sistem Perlindungan Petir Eksternal yang disarankan, dievaluasi dengan metode Bola Bergulir	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Jumlah Hari Guruh di daerah Jabodetabek dan sekitarnya.	10
Tabel 3.1 Arus Petir untuk tiap Tingkat Perlindungan Petir berdasarkan <i>waveform</i> 10/350 μ s	19
Tabel 3.2 Kapasitas Arus Petir untuk Perlindungan dari Surja berdasarkan <i>waveform</i> 10/350 μ s	19
Tabel 3.3 Jari-jari <i>Rolling Sphere</i> untuk tiap Tingkat Perlindungan Petir (LPL)	20
Tabel 3.4 Hubungan antara tingkat proteksi, efisiensi sistem proteksi eksternal E, Jari-jari Bola Bergulir dan arus puncak minimum sambaran petir.	20
Tabel 3.7 Lengkungan bola bergulir diatas dua tiang udara atau dua konduktor penghenti udara yang sejajar.	24
Tabel 3.5 Penjabaran sederhana metode Sudut Perlindungan	27
Tabel 3.6 Ukuran Jala berdasarkan Tingkat Proteksi	30
Tabel 4.1 Data fisik dan Non-fisik gedung Sekertariat Jurusan dan Laboratorium Departemen Elektro FTUI	31
Tabel 4.2 Karakteristik gedung Dept. Elektro FTUI	32

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 46

Perhitungan Resiko Sambaran Petir dengan IEC 1662 : 1995 untuk Pemilihan Level Proteksi Sistem Proteksi Petir (IEC 1024-1-1 : 1993)

LAMPIRAN 2 59

Perhitungan Resiko Sambaran Petir dengan IEC 1662 : 1995 Studi Kasus gedung Departemen Elektro di Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DAFTAR SINGKATAN

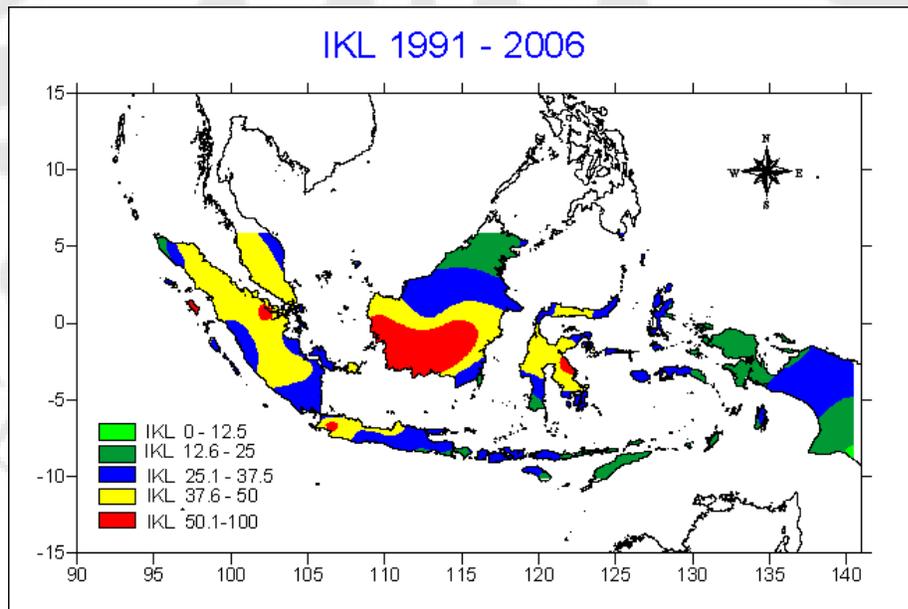
Dept.	Departemen
FTUI	Fakultas Teknik Universitas Indonesia
IEC	International Electrotechnical Commission
PUIPP	Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir
SPP	Sistem Perlindungan Petir
UI	Universitas Indonesia

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Petir telah menjadi bagian dari kehidupan manusia dan bahkan planet bumi itu sendiri sejak pertama kali terbentuk. Petir juga merupakan salah satu fenomena alam yang bagi manusia merupakan hal yang -baik disadari maupun tidak disadari- menguntungkan karena menghasilkan Nitrogen yang penting bagi tumbuhan, dan yang pada akhirnya akan menguntungkan manusia. Di banyak negara maju, petir merupakan salah satu fenomena alam yang cukup ditakuti karena dapat terjadi hampir dimana saja, kerusakan yang disebabkan menyebar cukup luas, dari kerusakan pada bangunan akibat sambaran langsung maupun kerusakan pada peralatan elektronik yang sensitif akibat Pulsa Elektromagnetik (EMP, Elektromagnetik Pulse).



Gambar 1.1 Data IKL Indonesia periode 1991 – 2006

Indonesia termasuk dalam daerah dengan jumlah hari guruh yang terbesar di dunia, yang dapat mencapai lebih dari 100 hari pertahun. Hal ini didukung dengan kondisi meteorologis Indonesia memang sangat ideal bagi terciptanya petir. Tiga syarat pembentukan petir – udara naik, kelembaban, dan partikel bebas atau aerosol – terpenuhi dengan baik di Indonesia sebagai negara maritim. Sementara di daerah Depok sendiri hari petir terjadi hampir sepanjang tahun, dan terutama di daerah danau buatan UI, yang karena kandungan besi tanahnya cukup tinggi maka sambaran petir di daerah UI selain cukup banyak intensitasnya, jumlah sambaran petir dari awan ke tanah menjadi jauh lebih banyak daripada sambaran dari awan ke awan. Dan akibat konsentrasi besi tanah yang cukup tinggi itu pulalah maka sambaran petir dengan arus kuat yang tertinggi di dunia juga tercatat terjadi di daerah Depok, dengan kuat arus mencapai 379.2 kA (kilo Ampere).

1.2 TUJUAN

Tujuan dari skripsi ini adalah melakukan evaluasi sistem terminasi udara pada gedung bertingkat sederhana dengan studi kasus gedung departemen Elektro di Fakultas Teknik Universitas Indonesia (FTUI) dengan menggunakan metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere*), Sudut Perlindungan (*Protection Angle*) dan Metode Jala (*Mesh Methode*) untuk menentukan posisi penempatan tiang-tiang penangkap petir (*lightning arrester*). Memberikan rancangan sistem terminasi udara pada gedung Departemen Elektro FTUI berdasarkan hasilnya. Selain itu skripsi ini juga bertujuan memberikan analisis perbandingan unjuk kerja ketiga metode tersebut.

1.3 BATASAN MASALAH

Sistem terminasi udara yang dievaluasi dan dirancang pada skripsi ini adalah sistem perlindungan petir eksternal yang diharapkan dapat melindungi gedung departemen Elektro FTUI dari sambaran petir langsung. Sistem perlindungan yang diajukan diharapkan akan dapat menyempurnakan sistem perlindungan petir yang telah ada. Sistem perlindungan petir yang dirancang

dalam skripsi ini tidak dimaksudkan untuk dan tidak akan melindungi peralatan elektronik dari efek-efek sekunder sambaran petir. Yang dimaksud dengan peralatan elektronik adalah semua peralatan yang mengandung komponen elektronik yang sensitif, seperti komputer, peralatan telekomunikasi, sistem kontrol dan instrumentasi.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Pembahasan yang dilakukan pada skripsi ini meliputi lima bab, yaitu:

Bab 1 Pendahuluan

Bagian ini terdiri dari latar belakang masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab 2 Landasan Teori

Pada bab ini akan dibahas teori mengenai fenomena petir dan sistem proteksi petir eksternal.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bagian ini memberikan penjelasan mengenai 3 metode yang akan digunakan untuk menentukan posisi terminasi udara dan mengetahui daerah proteksi yang diberikannya yaitu Metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere*), Sudut Perlindungan (*Protection Angle*) dan Metode Jala (*Mesh Methode*).

Bab 4 Analisis Sistem Terminasi Udara

Bagian ini membahas perbandingan hasil evaluasi penempatan terminasi udara dengan menggunakan ketiga metode tersebut pada gedung departemen Elektro FTUI, serta saran-saran mengenai sistem terminasi udara pada gedung departemen Elektro FTUI.

Bab 5 Kesimpulan

Bagian ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian pada skripsi ini.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 TEORI PETIR

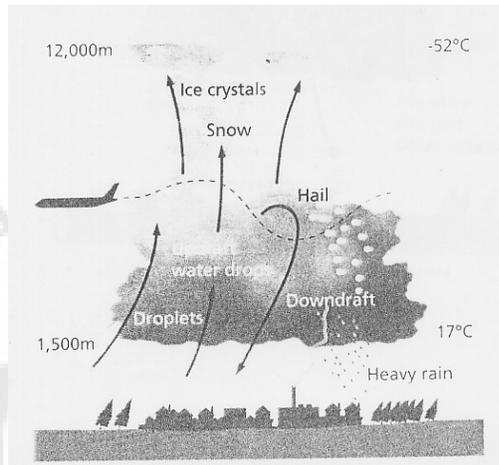
Benjamin Franklin (1707 – 1790) secara umum dianggap sebagai bapak dari teori perlindungan petir eksternal. Eksperimennya menggunakan layang-layang telah membuktikan untuk pertama kalinya bahwa awan badai (*Storm Clouds*) menghasilkan, menyimpan dan melepaskan listrik statis.

2.1.1 Karakteristik Petir

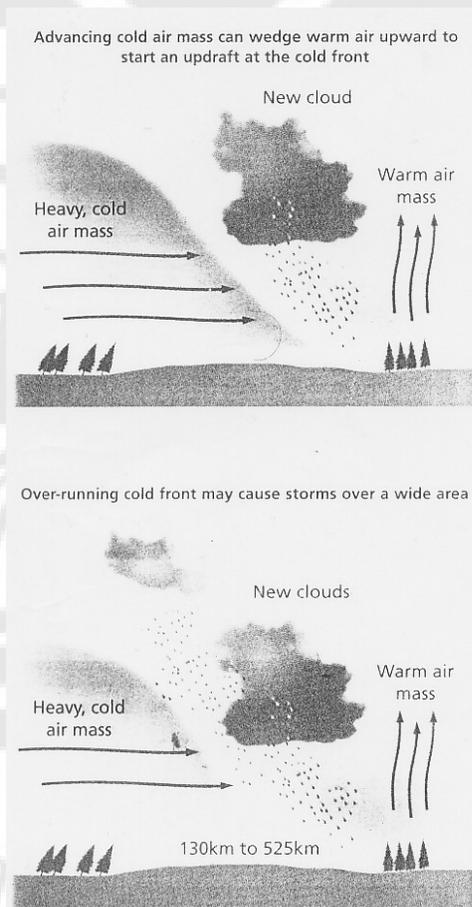
2.1.1.1 Formasi Awan Badai

Petir terbentuk akibat adanya peningkatan pemisahan muatan listrik secara alami didalam suatu awan badai. Ada 2 jenis awan badai, yang membangkitkan muatan listrik statis, Badai Panas (*Heat Storms*) dan Badai Gelombang Udara (*Frontal Storms*).

Badai Panas atau badai Konvektif (*Convective Storms*) banyak terjadi di daerah tropis dan pegunungan. Pada hari dengan suhu tinggi, udara yang hangat naik keatas dari permukaan tanah yang hangat lalu digantikan oleh udara yang lebih dingin dari atas. Proses konveksi semakin menurunkan suhu udara yang naik keatas yang kemudian membentuk awan, pada awalnya dalam bentuk tetesan air, dan pada ketinggian yang lebih tinggi sebagai kristal es. Dengan cara seperti ini, satu atau beberapa 'sel' awan terbentuk , dengan ketinggian puncaknya mencapai 12km.



Gambar 2.1 Heat Storms

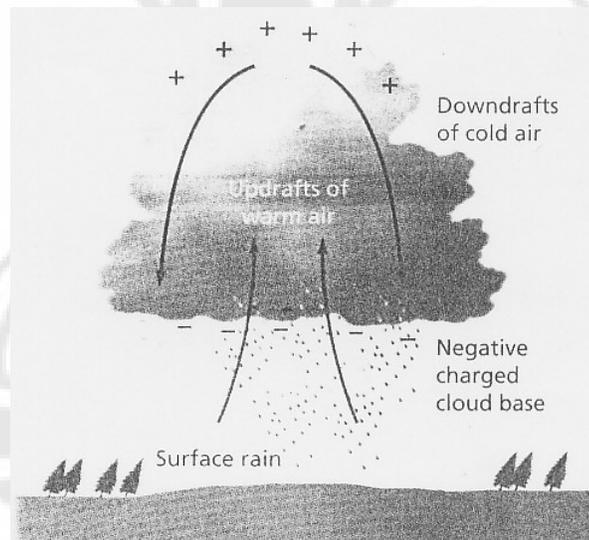


Gambar 2.2 Frontal Storms

Badai Gelombang Udara (*Frontal Storms*), yang banyak terbentuk di daerah dengan iklim sedang, disebabkan oleh tabrakan antara gelombang udara dingin dengan suatu massa udara hangat yang lembab, yang kemudian terangkat keatas gelombang udara dingin yang bergerak maju. Sejalan dengan udara hangat yang bergerak keatas, proses tersebut terus berulang, dan awan cumulo-nimbus yang dihasilkan dapat berukuran sangat besar, terbentang hingga puluhan kilometer dan mengandung sel-sel awan dengan ketinggian antara 7.5 hingga 18km.

2.1.1.2 Pemisahan Muatan

Berapa banyak jenis awan telah dipahami dengan baik, tetapi bagaimana proses pemisahan muatan terjadi didalam awan tidak. Banyak teori yang diajukan untuk menjelaskan fenomena pemisahan muatan, namun tampaknya semua orang setuju bahwa didalam awan guntur (*thunder cloud*), kristal es menjadi bermuatan positif sedangkan embun membawa muatan negatif.



Gambar 2.3 Pemisahan Muatan

Distribusi partikel ini dalam keadaan normal meningkatkan muatan negatif di dasar awan dan kemudian meningkatkan muatan positif pada permukaan tanah. Permukaan tanah ini dapat hanya berjarak 1km saja dari dasar awan. Peningkatan muatan ini terus terjadi hingga perbedaan tegangan antara permukaan tanah dan

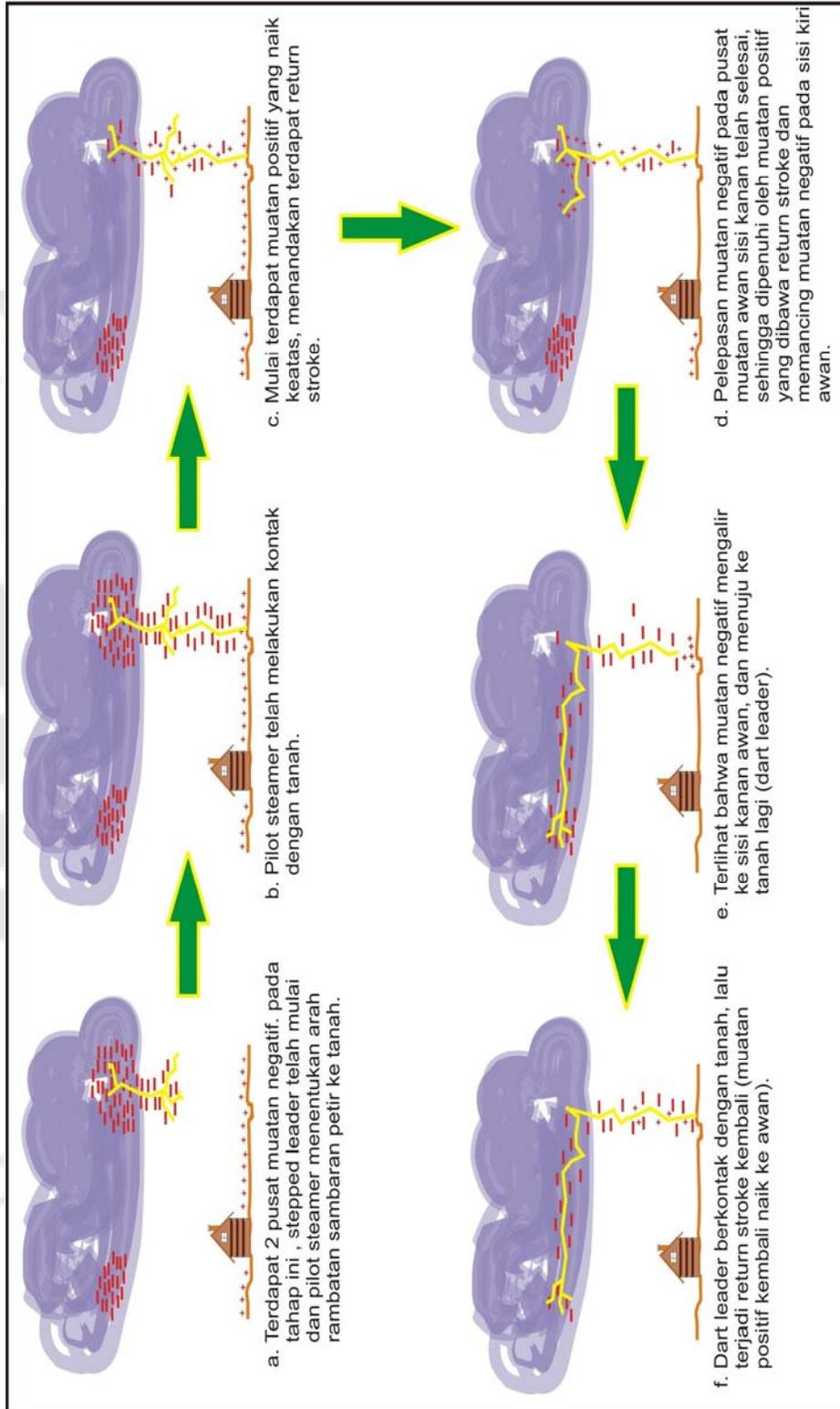
dasar awan menjadi sangat besar, menyebabkan breakdown pada tahanan udara (*air resistance*) dan menimbulkan pelepasan muatan petir (*lightning discharge*).

2.1.1.3 Pelepasan Muatan (Peluhan) Petir (*Lightning Discharge*)

Peluhan petir yang diawali dengan pengembangan sambaran perintis (*stepped downward leader*). Gerakan ke bawah ini bertahap sampai dekat ke tanah, sehingga muatan negatif yang dibawa oleh stepped leader tersebut memperbesar induksi muatan positif di permukaan tanah terutama pada benda-benda yang menonjol dari permukaan tanah, akibatnya gradien tegangan antara dasar awan dengan tanah semakin besar. Apabila kedua akumulasi muatan ini saling tarik, maka muatan positif dalam jumlah yang besar akan bergerak ke atas menyambut gerakan stepped leader yang bergerak kebawah, akhirnya terjadi kontak pertemuan antara keduanya. Gerakan ke atas muatan positif tersebut membentuk suatu streamer yang bergerak ke atas (*upward moving streamer*), atau yang lebih populer disebut sebagai sambaran balik (*return stroke*) yang menyamakan perbedaan potensial. Sambaran balik inilah cahaya terang yang kita lihat. Peluhan petir seperti inilah yang banyak terlihat, dan diistilahkan sebagai sambaran turun negatif (*negative descending stroke*).

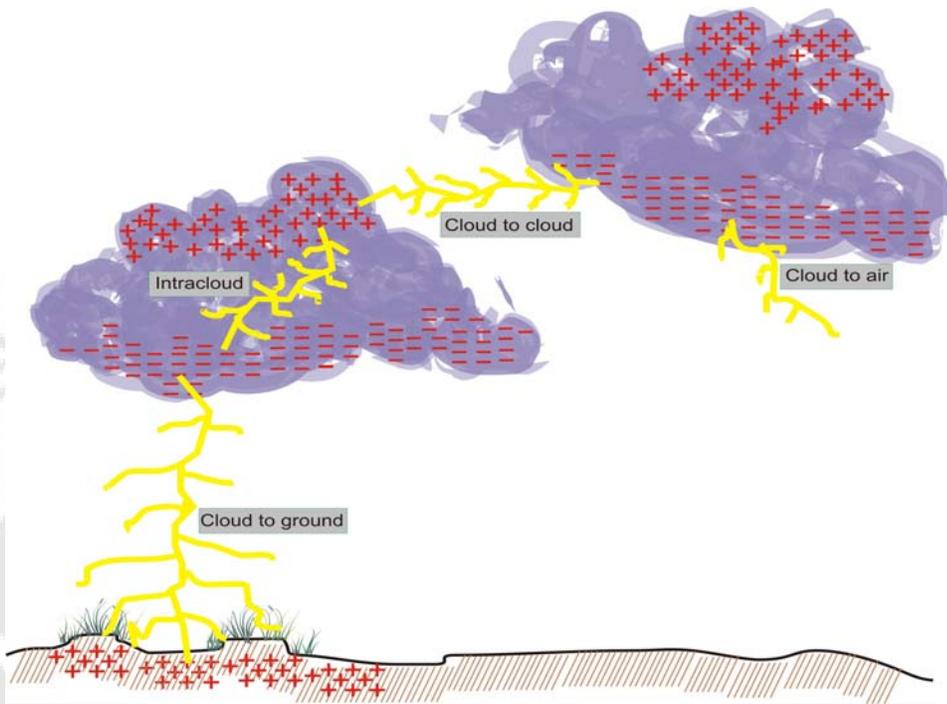


Gambar 2.4 Sambaran Turun (sambaran awan ke bumi)



Gambar 2.5 Proses terjadinya sambaran petir

Gambar Proses lengkap terjadinya sambaran petir



Gambar 2.6 Beberapa jenis sambaran petir

Beberapa variasi yang lain juga dapat terjadi, seperti dari puncak gunung atau bangunan. Dalam posisi ini sambaran perintis bergerak keatas (*upward positive leader*) dari puncak gunung atau bangunan karena besarnya muatan positif ditempat tersebut.



Gambar 2.7 Sambaran naik (bumi ke awan)

2.1.2 Hari Guruh

Hari guruh adalah banyaknya hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km dari stasiun pengamatan. Hari guruh biasa juga disebut hari badai guntur (*thunderstorm days*). Isokeraunic level adalah jumlah hari guruh dalam satu tahun di suatu tempat. Untuk menganalisa pengamanan terhadap sambaran petir di Gedung Dept. Elektro FTUI akan digunakan data hari guruh tahun 2006 di Jabodetabek, yang diamati dari Stasiun Meteorologi dan Geofisika Jakarta.

Tabel 2.1 Jumlah Hari Guruh di daerah Jabodetabek dan sekitarnya.

No.	Stasiun	Bujur	Lintang	Rata - rata	
				HG / Thn	HG/Bln
1	Tangerang / Budiarto Curug	106.57	-6.29	227	19
2	Serang	106.15	-6.15	118	10
3	Jakarta / Halim P.K	106.8	-2.25	133	11
4	Cengkareng / Soekarno Hatta	106.65	-6.11667	95	8
5	Jatiwangi	108.28333	-6.73	145	12
6	Darmaga / Bogor	106.86667	-6.53333	190	16
7	Citeko / Bogor	106.85	-6.67	193	16

Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisika, Provinsi DKI Jakarta

2.1.4 Kerusakan akibat Petir

Pelepasan muatan karena petir tidak dapat dikendalikan dan dapat menyebabkan kerugian harta benda maupun jiwa manusia.



Gambar 2.8 Contoh kerusakan akibat petir

2.1.4.1 Sumber Kerusakan

Beberapa sumber kerusakan yang mungkin antara lain adalah

1. Sambaran ke bangunan itu sendiri.
2. Sambaran ke tanah dekat bangunan tersebut.
3. Sambaran ke layanan yang terhubung dengan bangunan tersebut (telepon, listrik).
4. Sambaran ke tanah dekat dengan layanan yang terhubung dengan bangunan tersebut.

2.1.4.2 Jenis Kerusakan

Tiap-tiap sumber kerusakan tersebut dapat mengakibatkan satu atau lebih dari 3 jenis kerusakan berikut.

1. Luka-luka pada makhluk hidup akibat tegangan sentuh dan tegangan langkah.
2. Kerusakan fisik (api, ledakan, kerusakan secara mekanis, tersebarnya zat kimia) akibat arus sambaran petir termasuk percikan.
3. Kegagalan sistem internal akibat Impuls Elektromagnetik Petir (*Lightning Electromagnetic Impulse*).

2.1.4.3 Jenis Kerugian

Jenis-jenis kerugian berikut dapat diakibatkan oleh kerusakan akibat petir.

1. Kehilangan nyawa manusia.
2. Terputusnya layanan umum.
3. Kerugian warisan budaya.
4. Kerugian secara ekonomi.

2.2 SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL

Yang dimaksud dengan pelindung eksternal adalah sistem penangkal petir yang instalasi dan alat-alatnya diletakkan diluar struktur, dengan perlindungan langsung terhadap sambaran petir, dimana prinsipnya terdiri dari :

1. Penangkap petir / terminal udara / interceptor / *finial*.
2. Penghantar penyalur (*down conductor*)
3. Pentanahan (*Grounding*)

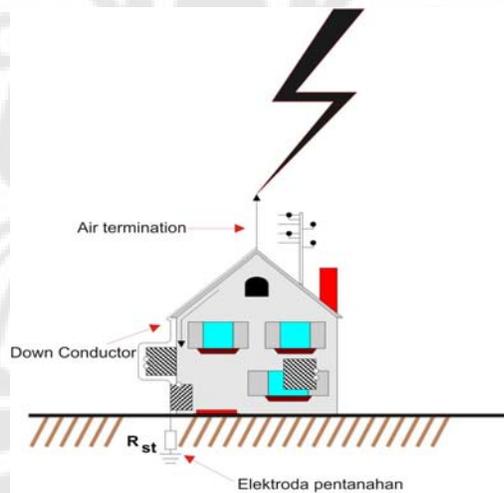
2.2.1 Jenis sistem proteksi petir eksternal

Setiap instalasi petir yang dipasang dengan cara tertentu mempunyai daerah perlindungan yang tertentu pula. Berdasarkan cara kerja sistem, maka terdapat 2 macam sistem instalasi proteksi petir, yaitu :

2.2.1.1 Sistem dengan penangkap petir

Prinsip kerja dari sistem ini pada dasarnya adalah :

1. Menyediakan suatu titik pada ujung bangunan yang akan diamankan sebagai sasaran sambaran petir, dengan harapan petir akan menyambar titik tersebut terlebih dahulu.
2. Menyediakan saluran untuk menyalurkan arus petir ke tanah.
3. Menyediakan suatu sistem pentanahan untuk mendistribusikan arus petir yang masuk ketanah dengan merata agar tidak menimbulkan kerusakan atau bahaya pada bagian bangunan atau pada manusia yang sedang berada dalam posisi kontak dengan tanah yang berada disekitar permukaan pentanahan tersebut.



Gambar 2.9 Sistem Perlindungan Petir Eksternal

2.2.1.2 Sistem dengan rangkaian penyebar (Dissipation Array System)

Apabila awan bermuatan listrik bergerak ke suatu daerah, maka akan menginduksi muatan listrik di permukaan tanah atau bangunan dibawah selongsong awan petir tersebut. Muatan yang terinduksi ini selanjutnya akan

dikumpulkan oleh sistem pentanahan DAS dan kemudian diangkat ke pembentuk ion (*ionizer*) dengan fenomena yang disebut point discharge, yaitu setiap bagian benda yang runcing akan memindahkan muatan listrik dari dirinya ke molekul udara di sekitarnya bilamana titik temunya berada pada medan elektrostatik. Ionizer akan menghimpun ribuan titik-titik bermuatan secara individu dan sanggup untuk melepaskan muatan secara optimal. Dimana akhirnya dapat mengurangi potensial setempat ke tingkat dibawah kesanggupan awan mengadakan pelepasan muatan listrik.

2.2.2 Konsekuensi kerja sistem proteksi petir.

2.2.2.1 Beban Termal

Beban termal yang dimaksud adalah terjadinya panas pada bagian-bagian yang dialiri arus petir. Pemanasan yang terjadi tersebut tergantung dengan besarnya kuadrat arus impuls.

$$W = R \int I^2 dt \quad (2.1)$$

Dimana : W = Energi petir (Joule)

R = Tahanan sistem yang dilewati arus petir (Ω)

I = Arus impuls petir (Ampere)

Pemanasan lebih ini terjadi pada penghantar- penghantar sistem proteksi petir yang diindikasikan dengan terjadinya kenaikan temperatur.

2.2.2.2 Beban Korosi

Beban korosi yang dimaksud adalah proses elektrokimia karena proses pengosongan muatan awan. Proses elektrokimia yang timbul adalah berupa pelelehan logam di objek sambaran. Ketika proses pengosongan muatan di awan terjadi, tentu akan terjadi aliran muatan listrik di bagian yang tersambar dimana energi yang disalurkan cukup besar dalam mempengaruhi proses pelelehan logam tersebut.

2.2.3 Efek- efek lain dari fenomena sambaran petir.

2.2.3.1 Beban Getaran Mekanis

Ketika petir menyambar salah satu bagian objek sambaran maka pada seluruh bagian lain objek akan merasakan suatu efek berupa getaran. Hal ini adalah efek gaya magnet yang terjadi dari arus petir yang sedang menginjeksi dan mengalir pada bagian objek yang berusaha memberi gaya tarik pada benda-benda yang lainnya. Getaran dirasakan tidak secara fisik saja oleh manusia tetapi juga oleh benda-benda didalam maupun disekitar objek.

2.2.3.2 Beban getaran mekanis karena guntur

Guntur merupakan gelombang bunyi yang ditimbulkan perilaku udara dalam lintasan petir yang mengembang dengan cepat. Hal ini disebabkan karena energi petir yang tersalurkan mencapai 10 MJ yang menimbulkan pemanasan drastis hingga 30.000°C hanya dalam waktu beberapa μ s saja. Energi petir ini sebanding dengan kuadrat arus petir. Beban getaran guntur ini sering terasa jika sambaran petir terjadi di tempat yang cukup dekat.

2.2.4 Efek kerja sistem proteksi petir terhadap sistem yang dilindunginya.

2.2.4.1 Beban tegangan lebih

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

Induksi ditimbulkan karena adanya medan magnet yang timbul di sepanjang penghantar yang dialiri arus petir. Besar intensitas induksi dipengaruhi oleh besarnya kecuraman maksimum arus petir atau (di/ dt) maksimum. Medan magnet ini kemudian menimbulkan tegangan induksi pada titik-titik medan magnet tersebut dirasakan. Beban tegangan lebih merupakan efek elektris yang dapat mengganggu operasional sistem elektronis, seperti sistem listrik, telekomunikasi, jaringan komputer atau peralatan elektronika.

2.2.4.2 Beban tegangan langkah dan tegangan sentuh

Manusia merupakan objek yang menjadi pertimbangan utama dan paling penting dalam suatu perancangan sistem perlindungan petir. Dalam hal ini, manusia harus terlindungi baik dari efek sambaran langsung maupun efek tidak langsung dari sambaran petir tersebut. Efek dari penyaluran arus petir yang harus diperhatikan adalah manusia tanpa sengaja dapat terkena "kejutan listrik" baik ketika berada disekitar instalasi penyaluran arus petir, atau bahkan tanpa disadari dalam keadaan menyentuh penghantar penyalur arus tersebut. Peristiwa pertama disebut efek tegangan langkah sedangkan yang kedua adalah efek tegangan sentuh.

2.3 PERTIMBANGAN RANCANGAN SPP EKSTERNAL

Perancang suatu sistem perlindungan petir eksternal pada mulanya harus mempertimbangkan efek panas dan ledakan yang timbul saat terjadinya sambaran dan akibatnya terhadap bangunan yang dilindungi. Tergantung dari akibat yang ditimbulkan, perancang dapat mempertimbangkan dua jenis SPP eksternal yaitu :

1. Non-Isolated (Tidak terisolasi)

Merupakan jenis SPP eksternal konvensional yang lebih umum digunakan pada berbagai rancangan bangunan. Jenis ini lebih banyak digunakan karena lebih mudah dan lebih murah.

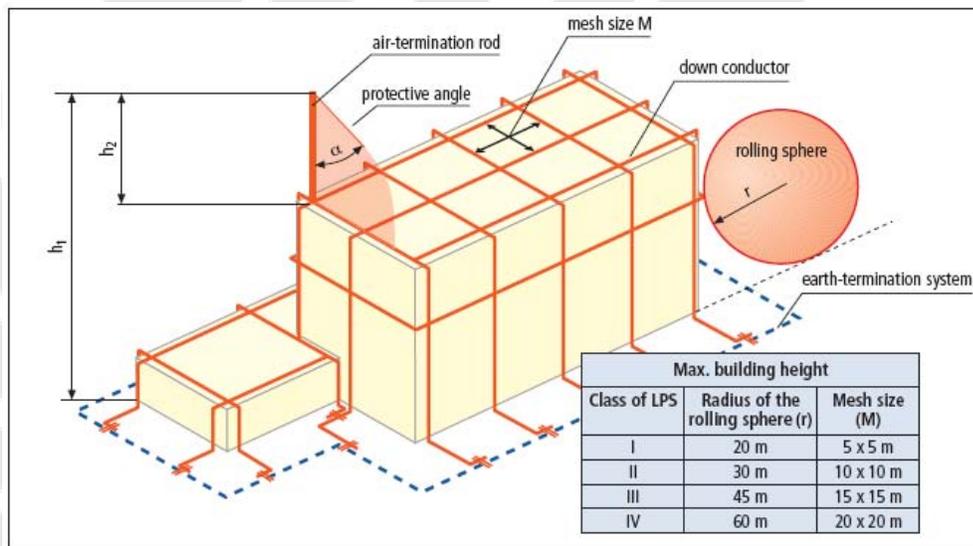
2. Isolated (Terisolasi)

Yaitu suatu jenis perlindungan petir eksternal yang bagian-bagian sistem perlindungan petirnya tidak terhubung dengan bangunan yang dilindunginya. Jenis ini lebih rumit dan memiliki komponen yang lebih banyak sehingga relatif lebih mahal bila dibandingkan dengan SPP eksternal yang tidak terisolasi.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

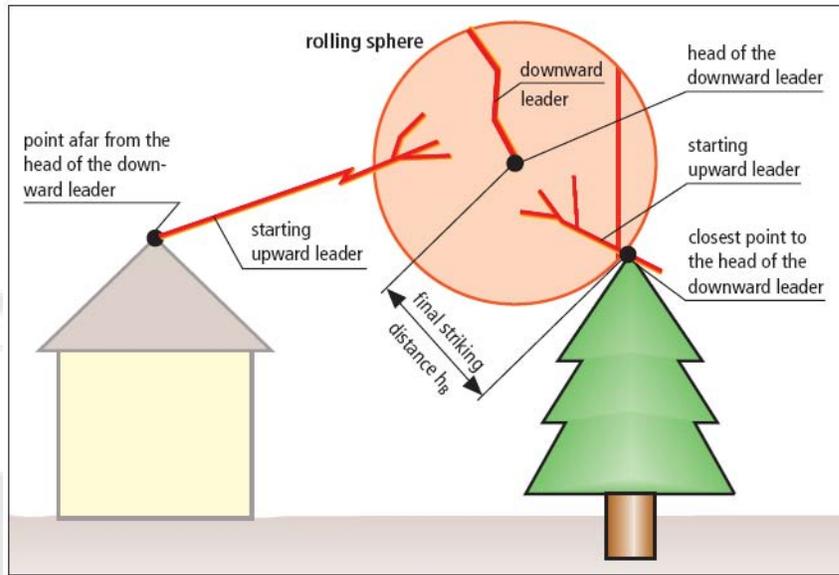
Ada 3 metode yang akan digunakan untuk menentukan posisi terminal udara pada penelitian ini. Metode-metode tersebut adalah metode Bola Bergulir, metode Sudut Perlindungan dan metode Jala. Penggambaran ketiga metode tersebut secara umum dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.1 Metode – metode untuk menentukan posisi terminasi udara

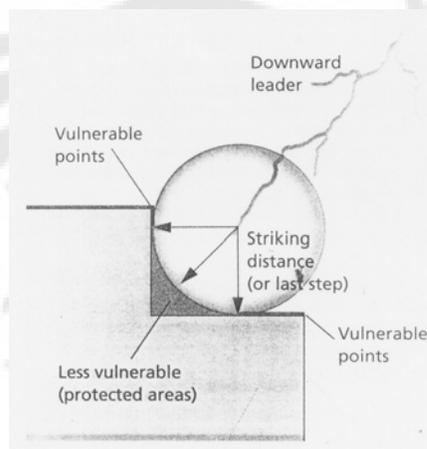
3.1 METODE *ROLLING SPHERE*

Sesuai dengan teori petir yang telah dijabarkan sebelumnya, dapat kita asumsikan bahwa sambaran petir mencapai tanah atau bangunan pada titik tempat suatu aliran keatas (*upward streamer*) dimulai. Aliran atau berkas (*streamer*) ini dimulai pada pada titik dengan intensitas medan terbesar dan dapat bergerak ke segala arah menuju perintis kebawah (*downward leader*). Karena hal inilah maka pada bangunan – bangunan tinggi petir dapat menyambar bagian samping bangunan daripada titik tertinggi bangunan tersebut.



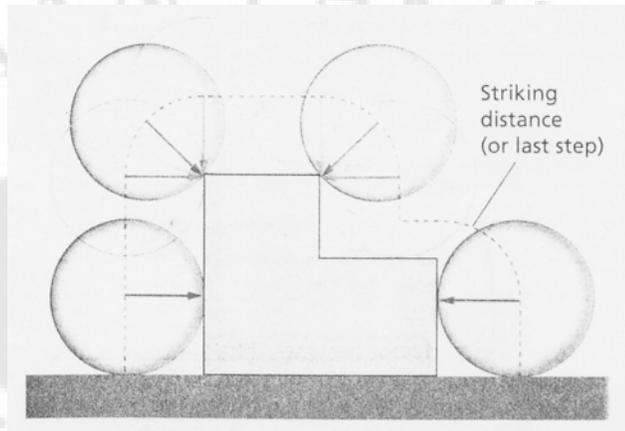
Gambar 3.4 Perkembangan Perintis Kebawah (*Downward Leader*)

Posisi dari intensitas medan yang terbesar akan terletak pada titik perintis kebawah sebelum langkah terakhir (*last step*). Jarak sebelum terjadinya langkah terakhir ini disebut dengan jarak sambaran (*striking distance*) dan akan ditentukan oleh besarnya (*amplitudo*) arus petir. Sebagai contoh, beberapa titik dengan jarak yang sama terhadap langkah terakhir dari perintis kebawah akan memiliki kesempatan yang sama untuk tersambar petir, sementara titik – titik yang berjarak lebih jauh akan lebih tidak mungkin tersambar. Jarak sambaran ini dapat ditunjukkan oleh suatu bola dengan jari-jari yang sama dengan jarak sambaran tersebut.



Gambar 3.5 Perkembangan Langkah Terakhir (*Last Step*)

Hipotesis ini dapat dijabarkan lebih lanjut untuk menjelaskan kenapa sudut – sudut dari suatu bangunan lebih rentan terhadap sambaran petir. Gambar dibawah menunjukkan suatu bola menggelinding pada permukaan suatu bangunan.



Gambar 3.6 Jarak Sambaran

Jari-jari lingkaran adalah jarak sambaran (*striking distance*) atau langkah terakhir (*last step*) dari peluahan petir. Oleh karena itu dapat kita lihat dengan jelas bahwa bagian sudut suatu bangunan terpapar oleh seperempat dari lintasan bola. Hal ini berarti apabila langkah terakhir jatuh pada seperempat bagian tersebut maka petir akan menyambar sudut bangunan tersebut.

3.1.2 Tingkat Perlindungan Petir pada Metode Bola Bergulir

Empat (4) Tingkat Perlindungan Petir (*Lightning Protection Level*) telah ditentukan berdasarkan parameter yang diambil dari catatan teknis yang dipublikasikan oleh *Conference Internationale des Grands Reseaux Electriques* (CIGRE). Tiap level memiliki komponen parameter arus petir maksimum dan minimum yang tertentu.

Parameter Arus Petir Maksimum

Tabel 3.1 menunjukkan nilai maksimum dari arus puncak untuk sambaran pendek pertama bagi tiap – tiap Tingkat Perlindungan Petir

Tabel 3.1 : Arus Petir untuk tiap Tingkat Perlindungan Petir berdasarkan waveform 10/350 μ s

LPL	I	II	III	IV
Maximum Current (kA)	200	150	100	100

Sumber : *A guide to protection against lightning, Furse*

Nilai maksimum ini digunakan dalam mendesain produk – produk seperti komponen - komponen perlindungan petir dan *Surge Protective Device (SPD)*. Dalam merancang suatu SPD, diasumsikan 50% dari arus ini mengalir ke Sistem Perlindungan Petir Eksternal / sistem Pentanahan, dan 50% melalui layanan – layanan (listrik, telepon, dll) didalam bangunan.

Apabila layanan didalam bangunan hanya terdiri dari Pasokan Daya 3-fasa saja (4 kawat, 3 fasa dan 1 netral), maka dalam perancangan SPD, parameter arus yang digunakan adalah sebagai berikut.

Tabel 3.2 : Kapasitas Arus Petir untuk Perlindungan dari Surja berdasarkan waveform 10/350 μ s

LPL	I	II	III	IV
Current per Mode (kA)	25	18.75	12.5	12.5

Sumber : *A guide to protection against lightning, Furse*

Tetapi hal ini adalah suatu kasus ekstrim dan pada umumnya didalam suatu bangunan terdapat berbagai layanan yang terhubung ke bangunan (termasuk layanan telekomunikasi, pipa air dari bahan metal), yang kemudian akan membagi sehingga menurunkan besarnya arus yang mengalir.

Parameter Arus Petir Minimum

Nilai minimum arus petir digunakan dalam menentukan radius dari *Rolling Sphere* untuk tiap tingkat perlindungan. Ada suatu hubungan antara arus puncak minimum dengan jarak sambaran (dengan kata lain radius *Rolling Sphere*) dan dapat dinyatakan sebagai :

$$r = 10 \times I^{0.65}, \quad (3.1)$$

dimana : r = radius *Rolling Sphere* (m)
 I = Arus puncak minimum (kA)

Tabel 3.3 : Jari-jari *Rolling Sphere* untuk tiap Tingkat Perlindungan Petir (LPL)

LPL	I	II	III	IV
Minimum Current (kA)	3	5	10	16
Calculated Radius (m)	20.42	28.46	44.67	60.63
Adopted Radius (m)	20	30	45	60

Sumber : A guide to protection against lightning, Furse

Hubungan antara tingkat proteksi, efisiensi sistem proteksi eksternal E, Jari-jari Bola Bergulir dan arus puncak minimum sambaran petir dapat terlihat pada tabel

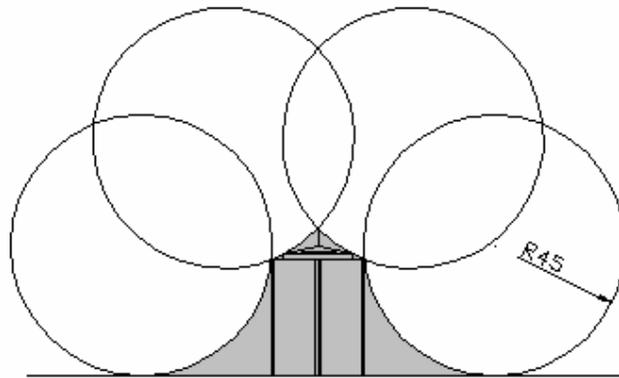
Tabel 3.4 Hubungan antara tingkat proteksi, efisiensi sistem proteksi eksternal E, Jari-jari Bola Bergulir dan arus puncak minimum sambaran petir.

Lightning protection level LPL	Probabilities for the limit values of the lightning current parameters		Radius of the rolling sphere (final striking distance h_p) r in m	Min. peak value of current I in kA
	< Max. values acc. to Table 5 IEC 62305-1 (EN 62305-1)	> Min. values acc. to Table 6 IEC 62305-1 (EN 62305-1)		
IV	0.84	0.97	60	16
III	0.91	0.97	45	10
II	0.97	0.98	30	5
I	0.99	0.99	20	3

3.1.3 Aplikasi Penentuan Posisi *Finial* Menggunakan Metode Bola

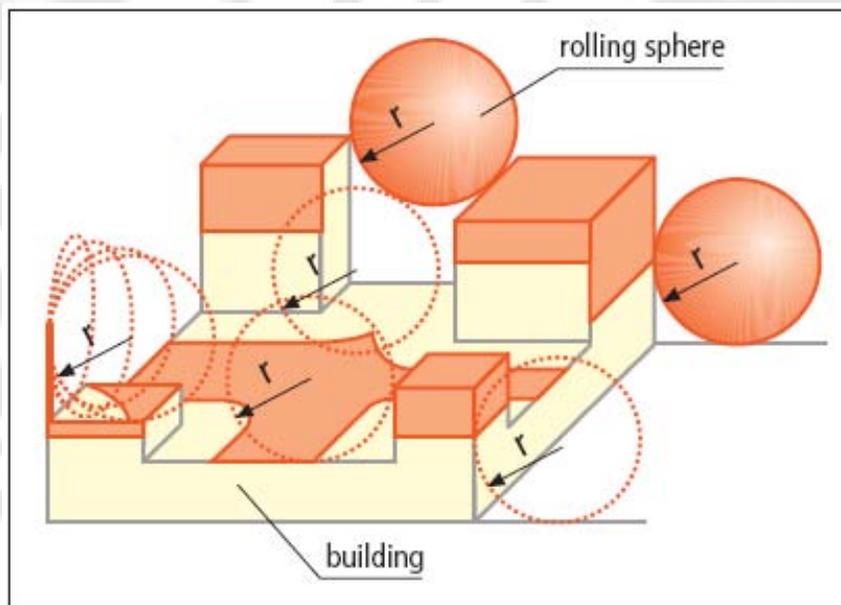
Bergulir

Karena *downward leader* dapat mendekat dari semua arah maka semua sudut pendekatan yang mungkin dapat disimulasikan dengan menggelindingkan sebuah bola khayal disekeliling dan melalui suatu bangunan yang akan dilindungi hingga ke tanah. Bagian bangunan yang tersentuh akan membutuhkan perlindungan terhadap petir. Menggunakan logika yang sama, daerah yang tidak terkena permukaan bola tidak perlu diberikan suatu perlindungan terhadap petir.



Gambar 3.7 Contoh penerapan metode Bola Bergulir

Metode ini cocok untuk menentukan zona perlindungan untuk semua jenis bangunan, terutama bangunan-bangunan yang memiliki struktur geometri yang rumit. Contoh aplikasinya adalah sebagai berikut.



Gambar 3.8 Contoh penerapan metode Bola Bergulir pada bangunan dengan konstruksi rumit

3.1.4 Penerapan Proteksi menggunakan Metode Bola Bergulir

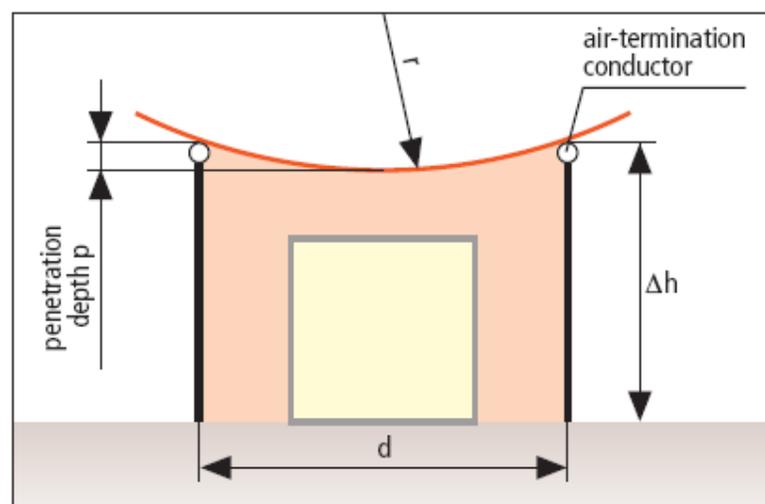
Setelah daerah yang membutuhkan perlindungan dari suatu bangunan ditentukan dengan menggunakan metode bola bergulir, maka selanjutnya adalah merancang suatu jaringan penghenti udara (*air termination network*). Jaringan

penghenti udara dapat dapat terjalin dari 3 metode yang telah dijelaskan sebelumnya mengenai pertimbangan rancangan sistem perlindungan petir eksternal. Yaitu tiang udara (*finial*), Konduktor tergantung(*catenary/suspended conductor*), dan Jaringan konduktor jala. Dan untuk menguji keefektifan SPP tersebut dapat dilakukan dengan mengaplikasikan metode bola bergulir ini lagi pada gedung yang telah diberi suatu SPP eksternal.

Tiang Udara (air rods / free standing mast)

Tiang udara dapat digunakan untuk menjauhkan bola bergulir dari bangunan yang akan dilindungi. Jika didimensikan dengan baik, tiang udara akan memastikan bahwa bola tidak akan menyentuh bagian manapun dari atap. Tinggi dari tiang udara yang dipakai sekarang adalah fungsi dari jari-jari bola bergulir dan jarak antara tiang udara tersebut.

Jika tiang udara diatur dalam susunan persegi, maka yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan kedalaman penetrasi bola bergulir adalah jarak antara dua tiang yang berseberangan secara diagonal, bukan yang sejajar.



Gambar 3.9 Kedalaman penetrasi p dari bola bergulir.

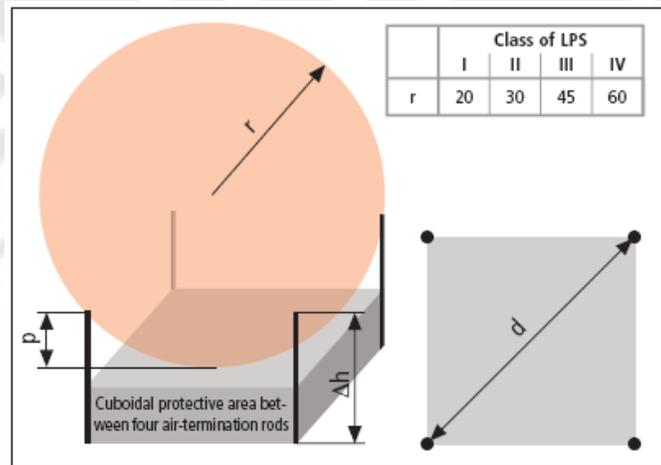
Seperti telah disinggung sebelumnya, kedalaman penetrasi dari bola bergulir amat penting dalam merancang sistem terminasi udara. Rumus dibawah dapat digunakan untuk menentukan kedalaman penetrasi bola bergulir p ,

$$p = r - \left[r^2 - (d/2)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(3.2)

Dimana :

- r** : radius bola bergulir
d : jarak antara 2 tiang udara atau 2 konduktor sejajar.



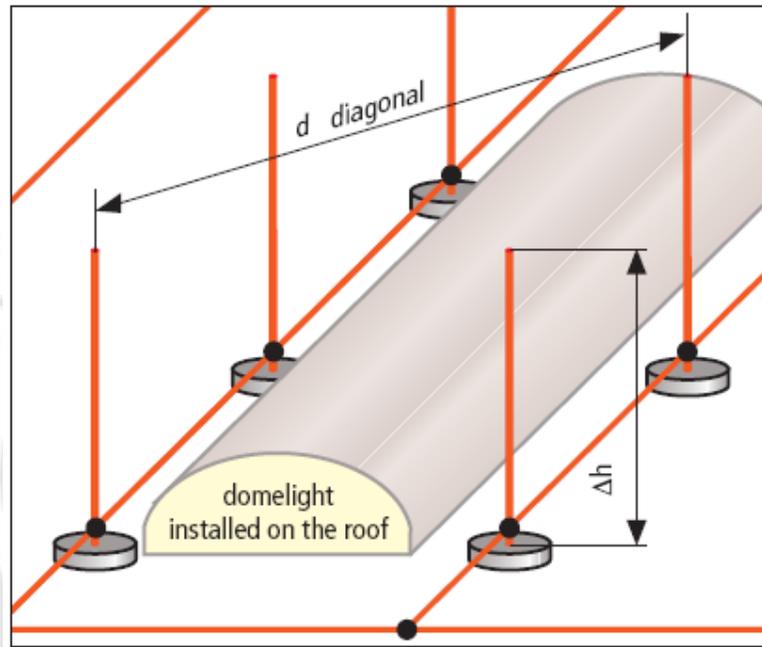
Gambar 3.10 Sistem proteksi udara untuk SPP atap dengan daerah peperlindungannya.

Tinggi dari tiang udara Δh harus selalu lebih besar daripada nilai p yang didapatkan dari persamaan sebelumnya, yang mana berarti lengkungan bola bergulir akan lebih besar. Tambahan tinggi dari tiang udara ini akan memastikan bola bergulir tidak menyentuh atap.

Tabel 3.7 Lengkungan bola bergulir diatas dua tiang udara atau dua konduktor penghenti udara yang sejajar.

d	Sag of the rolling sphere [m] (rounded up)			
Distance between air-termination rods [m]	Class of LPS with rolling sphere radius in meters			
	I (20 m)	II (30 m)	III (45 m)	IV (60 m)
2	0.03	0.02	0.01	0.01
4	0.10	0.07	0.04	0.03
6	0.23	0.15	0.10	0.08
8	0.40	0.27	0.18	0.13
10	0.64	0.42	0.28	0.21
12	0.92	0.61	0.40	0.30
14	1.27	0.83	0.55	0.41
16	1.67	1.09	0.72	0.54
18	2.14	1.38	0.91	0.68
20	2.68	1.72	1.13	0.84
23	3.64	2.29	1.49	1.11
26	4.80	2.96	1.92	1.43
29	6.23	3.74	2.40	1.78
32	8.00	4.62	2.94	2.17
35	10.32	5.63	3.54	2.61

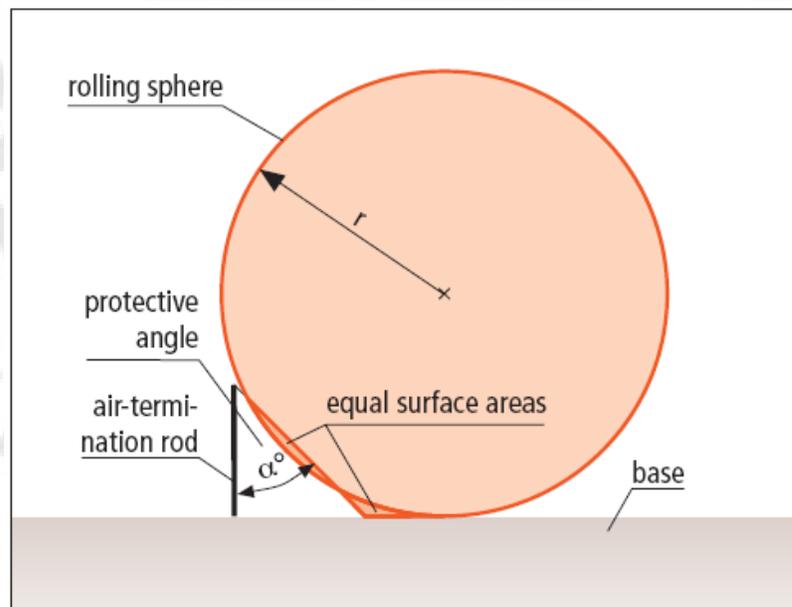
Selain menggunakan rumus diatas, cara lain untuk mengukur kedalaman penetrasi bola bergulir adalah menggunakan tabel berikut. Kedalaman penetrasi bola bergulir tersebut ditentukan oleh jarak terjauh satu tiang penghenti udara dari tiang yang lain. Menggunakan jarak terjauh ini, kedalaman penetrasi p (lengkungan) bola bergulir dapat dilihat langsung dari tabel, sesuai dengan jari-jarinya. Kemudian tiang penghenti udara tersebut harus diatur sehingga sesuai dengan tinggi struktur yang akan dilindungi dan juga kedalaman penetrasi.



Gambar 3.11 Perhitungan Δh untuk beberapa tiang udara berdasarkan metode bola bergulir.

3.2 METODE SUDUT PERLINDUNGAN (PROTECTIVE ANGLE METHODE)

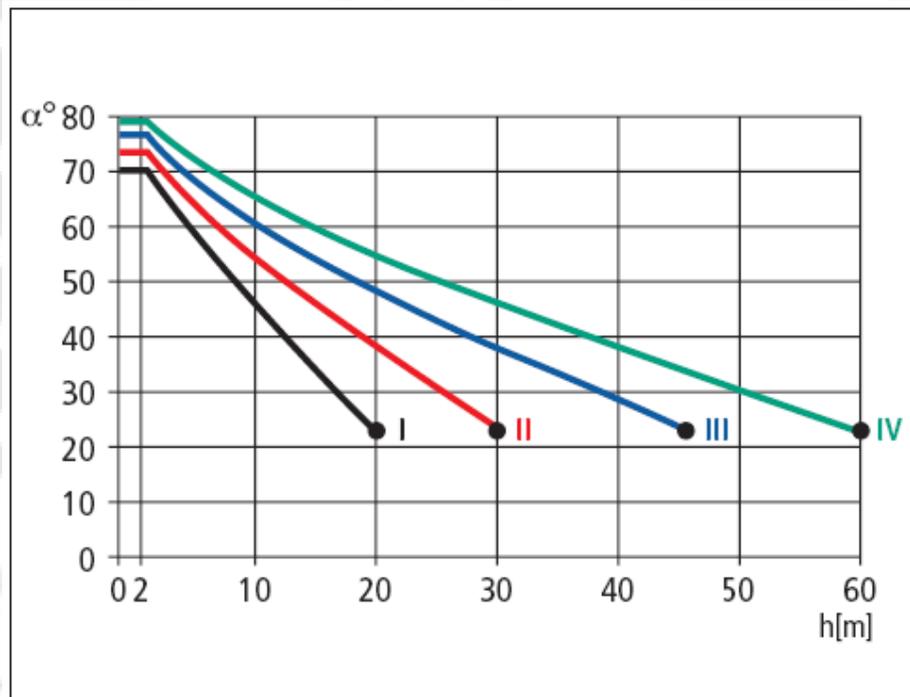
Metode sudut perlindungan adalah penyederhanaan matematis dari metode Bola Bergulir.



Gambar 3.12 Penurunan Sudut Perlindungan dari metode Bola Bergulir

Sudut perlindungan diturunkan dengan mula-mula menggelindingkan suatu bola ke sebuah penghilang udara vertikal (*vertical air termination*), misalnya sebuah tiang udara (AB). Kemudian sebuah garis ditarik dari titik dimana bola menyentuh tiang (titik A) menuju ke bidang acuan D, pada titik C. Garis ini harus memotong bola tersebut sedemikian sehingga daerah yang lebih (*overestimated*) dan kurang (*underestimated*) terlindungi bila dibandingkan dengan metode *Rolling Sphere* (diarsir) sama besar. Sudut yang tercipta antara tiang AB dan garis AC dinamakan sudut perlindungan (*Protective Angle*).

Prosedur diatas diaplikasikan terhadap semua kelas LPS, menggunakan jari-jari *Rolling Sphere*-nya masing-masing. Sudut perlindungan dari sebuah tiang udara (*finial*) pada suatu bidang acuan dapat kita lihat pada gambar dan dijabarkan lebih lanjut pada tabel.



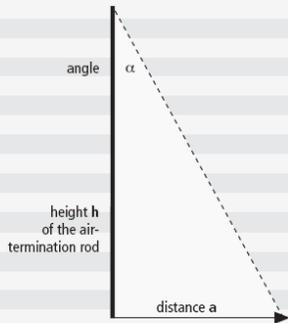
Gambar 3.13 Pembatasan metode Sudut Perlindungan

Titik I, II, III dan IV pada gambar memberikan batasan ketika menggunakan metode sudut perlindungan dalam merancang suatu sistem perlindungan petir eksternal. Ketika bangunan, *finial*, atau tiang, relatif terhadap bidang acuan, lebih tinggi daripada jari-jari *Rolling Sphere* yang cocok, maka daerah perlindungan yang diberikan oleh sudut perlindungan tidak lagi berlaku.

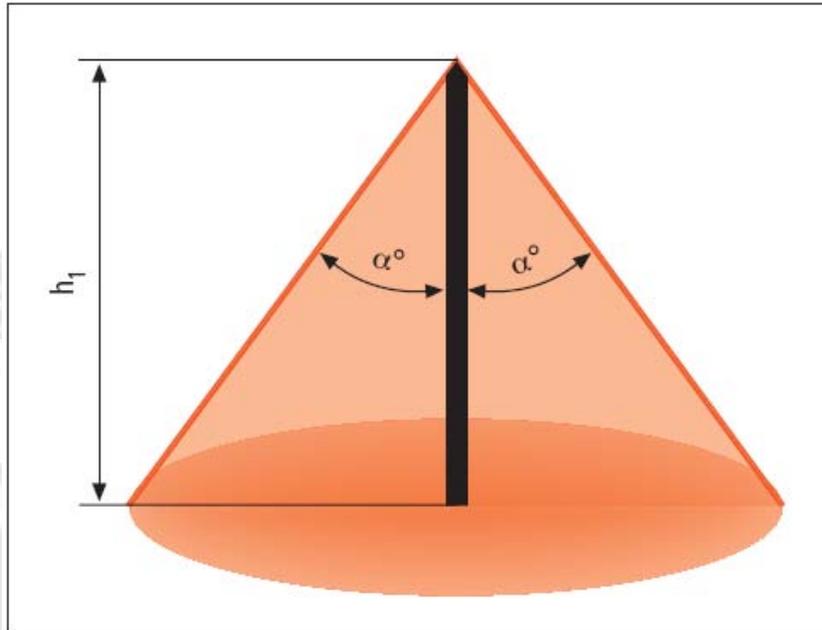
Dari gambar diatas, dapat kita buat suatu penjabaran dalam tabel berikut.

Tabel 3.5 Penjabaran sederhana metode Sudut Perlindungan

Height of the air-termination rod h in m	Class of LPS I		Class of LPS II		Class of LPS III		Class of LPS IV	
	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m	Angle α	Distance a in m
1	71	2.90	74	3.49	77	4.33	79	5.14
2	71	5.81	74	6.97	77	8.66	79	10.29
3	66	6.74	71	8.71	74	10.46	76	12.03
4	62	7.52	68	9.90	72	12.31	74	13.95
5	59	8.32	65	10.72	70	13.74	72	15.39
6	56	8.90	62	11.28	68	14.85	71	17.43
7	53	9.29	60	12.12	66	15.72	69	18.24
8	50	9.53	58	12.80	64	16.40	68	19.80
9	48	10.00	56	13.34	62	16.93	66	20.21
10	45	10.00	54	13.76	61	18.04	65	21.45
11	43	10.26	52	14.08	59	18.31	64	22.55
12	40	10.07	50	14.30	58	19.20	62	22.57
13	38	10.16	49	14.95	57	20.02	61	23.45
14	36	10.17	47	15.01	55	19.99	60	24.25
15	34	10.12	45	15.00	54	20.65	59	24.96
16	32	10.00	44	15.45	53	21.23	58	25.61
17	30	9.81	42	15.31	51	20.99	57	26.18
18	27	9.17	40	15.10	50	21.45	56	26.69
19	25	8.86	39	15.39	49	21.86	55	27.13
20	23	8.49	37	15.07	48	22.21	54	27.53
21			36	15.26	47	22.52	53	27.87
22			35	15.40	46	22.78	52	28.16
23			36	16.71	47	24.66	53	30.52
24			32	15.00	44	23.18	50	28.60
25			30	14.43	43	23.31	49	28.76
26			29	14.41	41	22.60	49	29.91
27			27	13.76	40	22.66	48	29.99
28			26	13.66	39	22.67	47	30.03
29			25	13.52	38	22.66	46	30.03
30			23	12.73	37	22.61	45	30.00
31					36	22.52	44	29.94
32					35	22.41	44	30.90
33					35	23.11	43	30.77
34					34	22.93	42	30.61
35					33	22.73	41	30.43
36					32	22.50	40	30.21
37					31	22.23	40	31.05
38					30	21.94	39	30.77
39					29	21.62	38	30.47
40					28	21.27	37	30.14
41					27	20.89	37	30.90
42					26	20.48	36	30.51
43					25	20.05	35	30.11
44					24	19.59	35	30.81
45					23	19.10	34	30.35
46							33	29.87
47							32	29.37
48							32	29.99
49							31	29.44
50							30	28.87
51							30	29.44
52							29	28.82
53							28	28.18
54							27	27.51
55							27	28.02
56							26	27.31
57							25	26.58
58							25	27.05
59							24	26.27
60							23	25.47

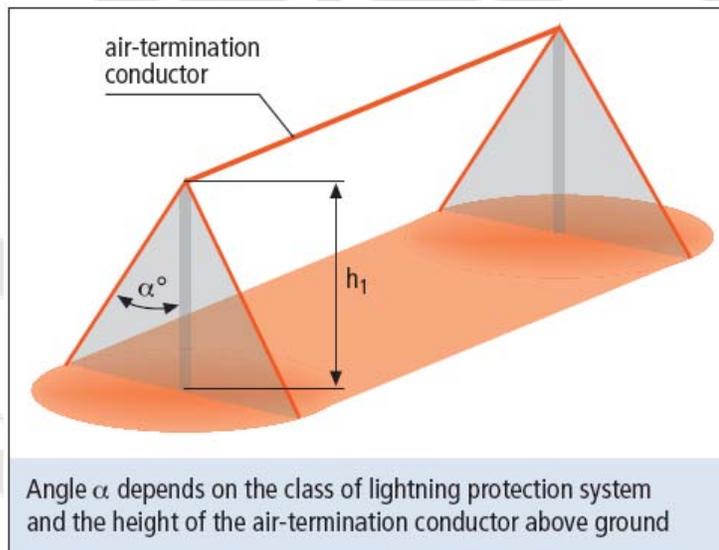


Pada penerapannya, metode ini akan membentuk suatu bentuk kerucut untuk tiap *fnial*, dan bentuk tenda untuk suatu sistem terminasi udara yang menggunakan konduktor yang dibentangkan terhadap bangunan yang akan dilindungi. Daerah perlindungan dari metode ini dapat kita lihat pada gambar berikut,

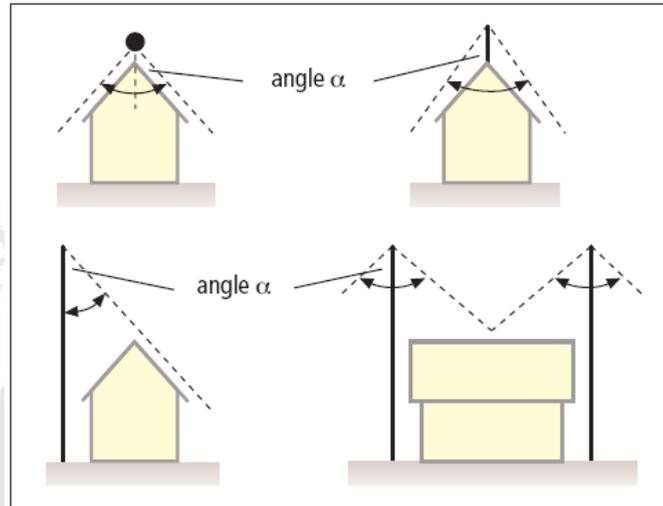


Gambar 3.14 Daerah perlindungan berbentuk kerucut

Kemudian pada gambar berikut dapat dilihat gambar daerah, atau volume perlindungan dari suatu konduktor yang dibentangkan diatas dua buah tiang penyangga dan sudut perlindungan yang diberikan terminal udara terhadap suatu bangunan, tergantung dari daerah acuannya.

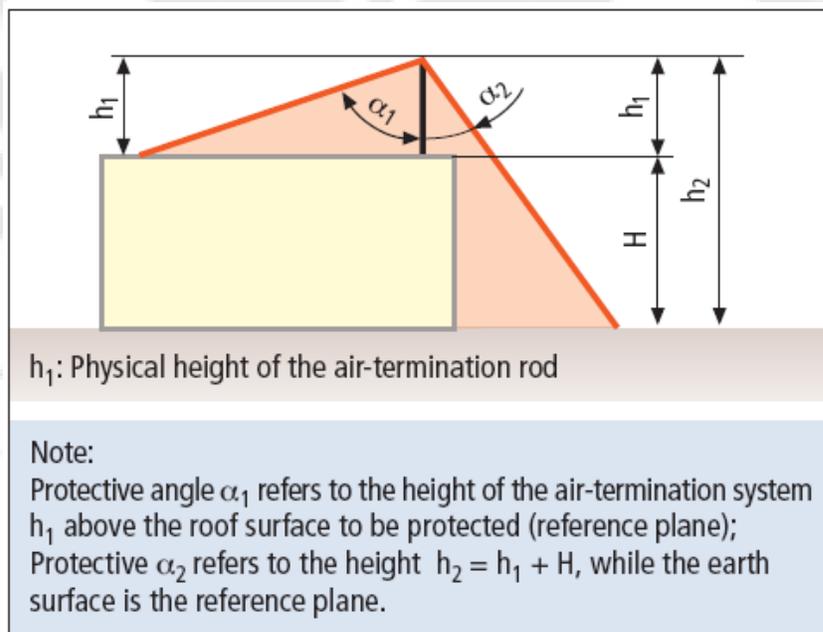


Gambar 3.15 Daerah yang terlindungi oleh konduktor terminasi udara.



Gambar 3.16 Contoh sistem terminasi udara dengan sudut perlindungan α

Tetapi perhitungan sudut proteksi ini tergantung kepada jarak antara titik puncak terminasi udara dengan bidang acuan daerah yang akan dilindungi, jadi apabila terminasi udara diletakkan di atap suatu bangunan maka akan terbentuk wilayah perlindungan yang berbeda. Contohnya dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 3.17 Sistem perlindungan petir eksternal, terlindungi secara volume oleh *fnial* tegak.

3.3 METODE JALA

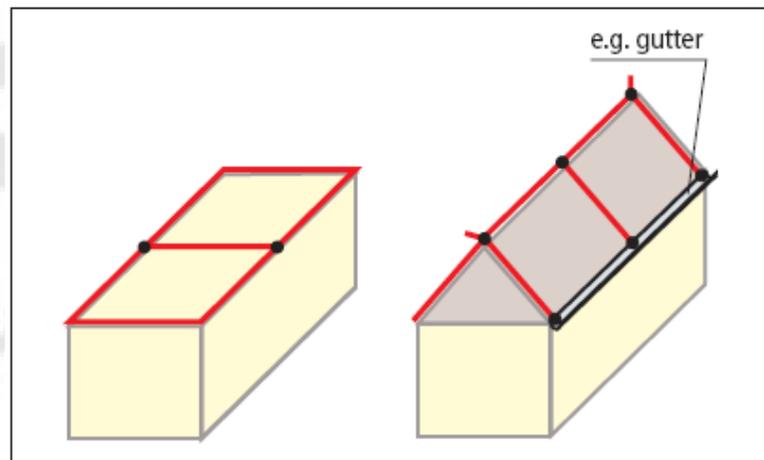
Sebuah sistem penghentian udara dengan sistem jala dapat digunakan disemua struktur, tanpa perlu mempertimbangkan tinggi bangunan dan bentuk atap. Tabel dibawah menunjukkan ukuran lubang jala yang bersesuaian dengan tingkat proteksi bangunan. Untuk menyederhanakan permasalahan, maka lengkungan bola bergulir dianggap nol untuk sistem penghentian udara dengan metode jala ini.

Tabel 3.6 Ukuran Jala berdasarkan Tingkat Proteksi

Class of LPS	Mesh size
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

Dengan menggunakan rabung dan sudut-sudut bagian luar dari bangunan, dan juga bagian bangunan yang terbuat dari logam difungsikan sebagai sistem penghenti udara, sel-sel individual dapat ditempatkan sesuai keinginan kita.

Konduktor penghenti udara pada sudut-sudut bagian luar bangunan harus diletakkan sedekat mungkin dengan sudut bangunan.



Gambar 3.18 Sistem penghentian udara jala.

BAB 4

ANALISIS SISTEM TERMINASI UDARA

Pada bab ini akan dilakukan analisis terhadap sistem terminasi udara pada gedung departemen Elektro di Fakultas Teknik Universitas Indonesia yang terletak di wilayah Depok. Akan dilakukan perkiraan resiko di gedung Dept. Elektro FTUI, kemudian akan ditentukan tingkat proteksi yang sesuai dengan efisiensi yang diinginkan menggunakan standar IEC 1024-1-1.

Setelah itu, menggunakan tingkat resiko yang telah ditentukan, akan dilakukan penerapan metode Bola Bergulir, Sudut Perlindungan dan Metode Jala untuk mengevaluasi terminal udara pada gedung Dept. Elektro FTUI.

Pada bagian terakhir bab ini akan diberikan saran untuk memperbaiki posisi terminal udara yang telah ada.

4.1 PERKIRAAN RESIKO

4.1.1 Penentuan tingkat resiko

4.1.1.1 Data Gedung

Data Gedung Departemen Elektro FTUI dapat terlihat pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Data fisik dan Non-fisik gedung Sekertariat Jurusan dan Laboratorium Departemen Elektro FTUI

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	22,95 m
Panjang Gedung	47,33 m
Lebar Gedung	22,15 m
Resistansi Tanah	3,89 Ω
Jumlah Orang	± 650 orang
Waktu Hadir	45 jam/minggu
IKL	52,45
Jumlah <i>Finial</i> Terpasang	5 buah
Karakteristik Material	Beton

4.1.1.2 Penentuan Tingkat Proteksi Berdasarkan IEC

Perhitungan Resiko Sambaran Petir dengan IEC 1662 : 1995 Studi Kasus gedung-gedung di Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Tabel 4.2 Karakteristik gedung Dept. Elektro FTUI

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	22,95 m
Panjang Gedung	47,33 m
Lebar Gedung	22,15 m
Resistansi Tanah	3,89 Ω
Jumlah Orang	± 650 orang
Waktu Hadir	45 jam/minggu
IKL	52,45
Jumlah <i>Finial</i> Terpasang	5
Karakteristik Material	Beton

Untuk Perhitungan secara terperinci mengenai penentuan tingkat proteksi dengan Gedung Dept. Elektro FTUI menggunakan standar IEC diberikan pada bagian lampiran.

4.1.2 Analisis Penentuan Tingkat Proteksi pada Gedung Dept. Elektro FTUI

Dari hasil perhitungan potensi-potensi sambaran petir yang mengancam gedung Departemen Elektro FTUI maka kebutuhan akan proteksi petir baik eksternal maupun internal cukup besar. Hal ini bertujuan untuk meminimalisasi besar total kerusakan akibat sambaran petir (F) terutama besar kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran langsung (Fd) berada dibawah frekuensi minimum (Fa).

$$F = 1 - \frac{F_a}{F_d}$$

Dimana :

E = efisiensi sistem proteksi eksternal

Fa = frekuensi kerusakan maksimum

Fd = frekuensi kerusakan karena sambaran langsung

Bentuk kompensasinya adalah suatu sistem proteksi eksternal yang mempunyai level proteksi tertentu yang perancangan dapat mengacu pada IEC 1024-1 : 1993.

Level Proteksi	Efisiensi sistem Proteksi eksternal
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Dengan besar $F_d = 1,1524$ dan besar $E = 0,90$, berarti frekuensi kerusakan maksimum yang mungkin terjadi adalah $F_a = 0,11524$.

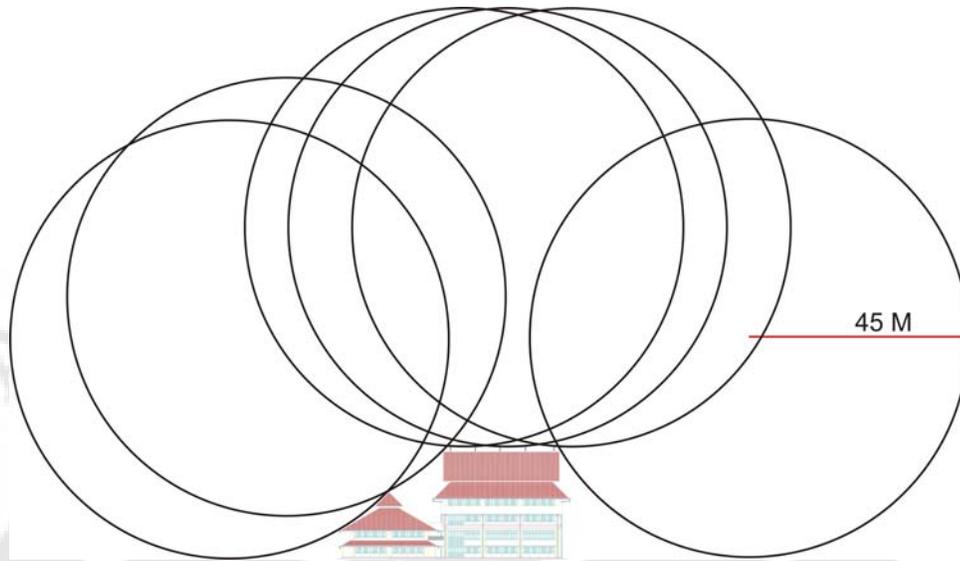
Beberapa hal yang dipertimbangkan dalam menentukan tingkat proteksi melalui nilai efisiensi yang diinginkan adalah besarnya biaya yang akan dikeluarkan dan tingkat arus puncak minimum yang diijinkan (*minimum let-through maximum current*).

Dalam kasus Dept. Elektro FTUI ini, dipilih efisiensi sistem proteksi eksternal dengan kisaran nilai pada 0,90 dengan pertimbangan, memberikan perlindungan yang cukup tanpa biaya yang terlalu tinggi. Dengan nilai efisiensi pada kisaran 0,90 tersebut, berdasarkan tabel maka tingkat proteksi yang akan diberikan kepada Gedung Dept. Elektro FTUI adalah tingkat III.

4.2 ANALISIS POSISI TERMINAL UDARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE BOLA BERGULIR

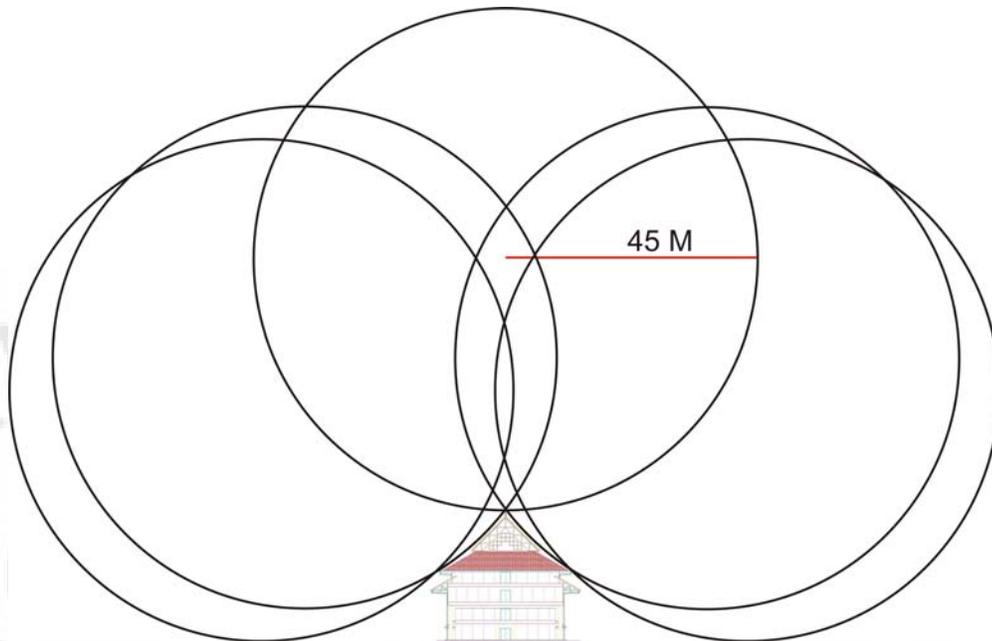
Setelah menentukan tingkat proteksi pada gedung Dept. Elektro FTUI maka kemudian dapat ditentukan radius bola dari metode bola bergulir. Kemudian Bola tersebut akan digulirkan sekeliling gedung Dept. Elektro FTUI.

Dalam studi kasus ini akan diperlihatkan penerapan metode bola bergulir terhadap dua penampang dari gedung, yaitu tampak samping dan tampak depan.



Gambar 4.1 Metode Bola Bergulir pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)

Pada penerapan metode bola bergulir di gedung Dept. Elektro FTUI dari tampak samping tersebut terlihat bahwa dengan pemasangan 5 buah *finial* di atap gedung bagian Lab, bola masih dapat menyentuh bagian gedung sekretariat. Ini berarti gedung bagian sekretariat masih membutuhkan perlindungan dari petir. Sedangkan untuk *finial* yang telah ada, masing-masing *finial* berjarak 5 m satu sama lain, yang berarti menurut tabel lengkungan bola, tinggi minimal *finial* yang diperlukan adalah 0,10 m (jarak 6 m), dimana tinggi *finial* yang dipasang adalah 1 m, yang berarti ketinggian *finial* tersebut telah cukup melindungi atap gedung bagian Lab.



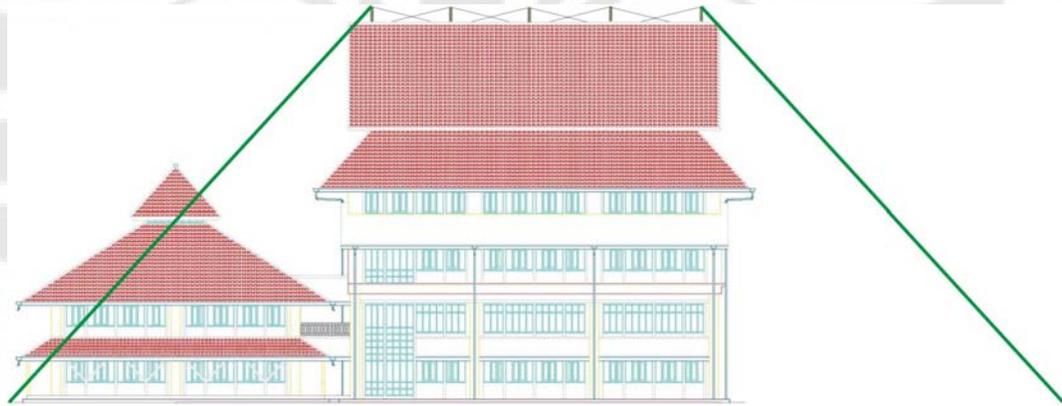
Gambar 4.2 Metode Bola Bergulir pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)

Bila dilihat dari arah depan, penerapan metode bola bergulir pada gedung Dept. Elektro FTUI memperlihatkan bahwa bola masih menyentuh pinggiran atap bagian bawah dari gedung, yang berarti gedung masih membutuhkan tambahan terminasi udara. Terlihat pada gambar bahwa gedung yang terlihat adalah gedung bagian Lab saja, hal ini dikarenakan pada analisis tampak depan ini, yang diperhitungkan adalah lebar bangunan saja, dan karena lebar gedung bagian lab lebih besar daripada lebar bagian sekretariat maka gedung bagian lab diasumsikan telah melindungi gedung bagian sekretariat.

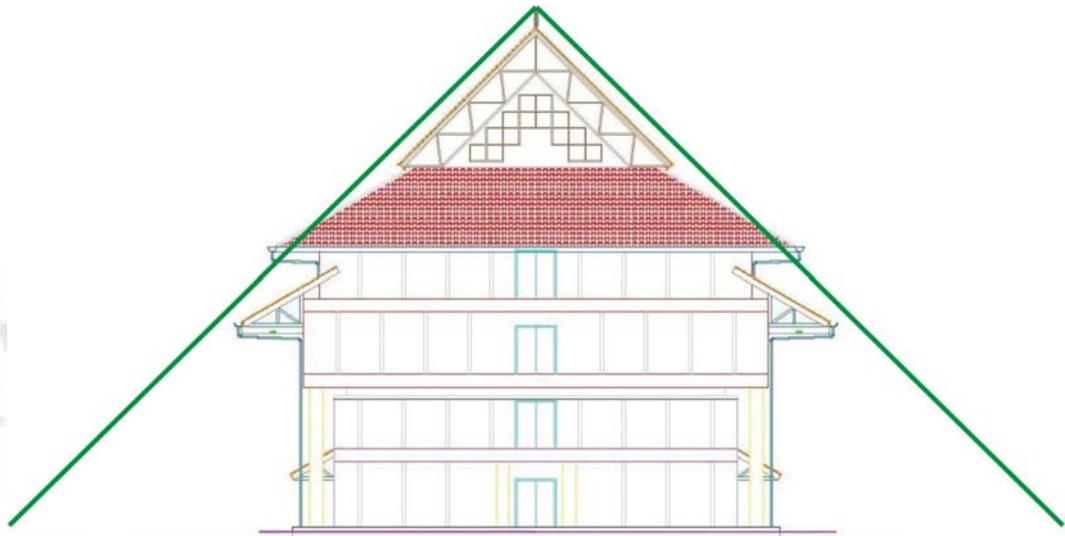
4.3 ANALISIS SISTEM TERMINASI UDARA DENGAN MENGUNAKAN METODE SUDUT PERLINDUNGAN

Dengan menggunakan tingkat proteksi III, tinggi gedung $22,95\text{m} \approx 23\text{ m}$, dan tinggi *finial* 1 m maka untuk sudut perlindungan gedung dengan referensi permukaan tanah adalah 44° dan jari-jari perlindungan $23,18\text{ m}$. Sedangkan sudut perlindungan *finial* terhadap atap gedung adalah 77° dan jari-jari perlindungan $4,33\text{ m}$.

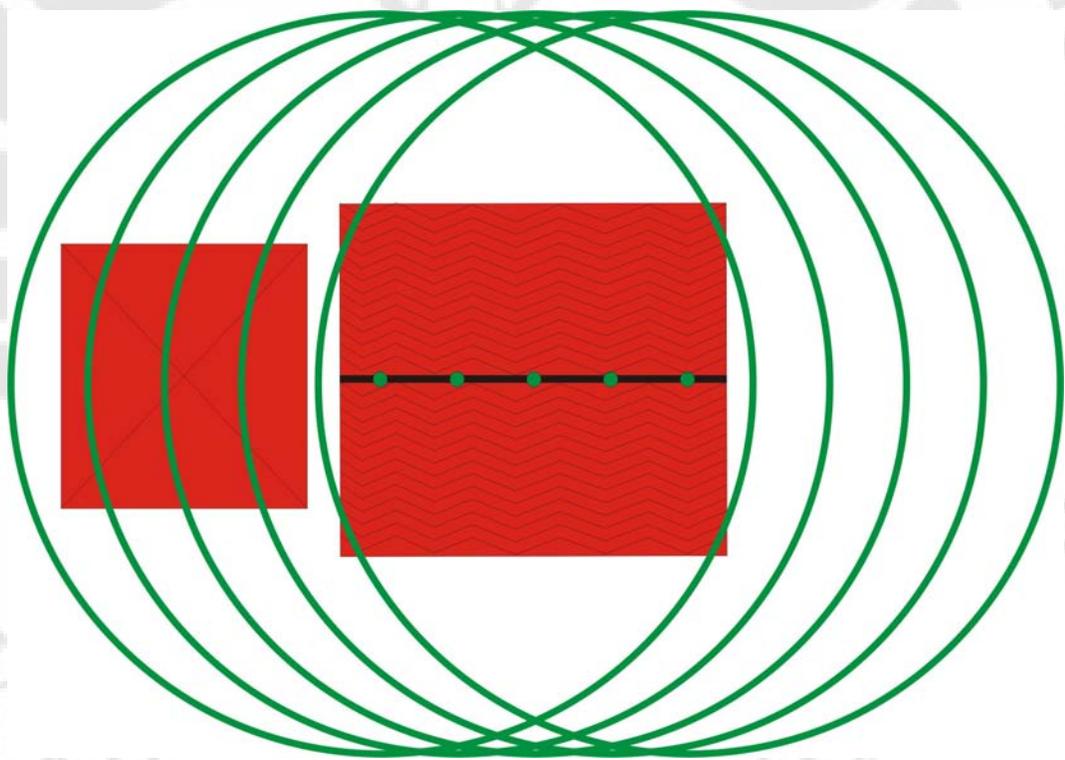
Dari gambar dapat kita lihat bahwa hasil penerapan metode sudut perlindungan ini menunjukkan bahwa *finial* yang telah ada tidak memberikan perlindungan yang cukup terhadap keseluruhan bagian gedung. Bagian yang tidak terlindungi adalah bagian gedung sekretariat, sedangkan bila kita lihat dari tampak samping, bagian pinggir dari gedung lab tidak terlindungi dengan baik.



Gambar 4.3 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)



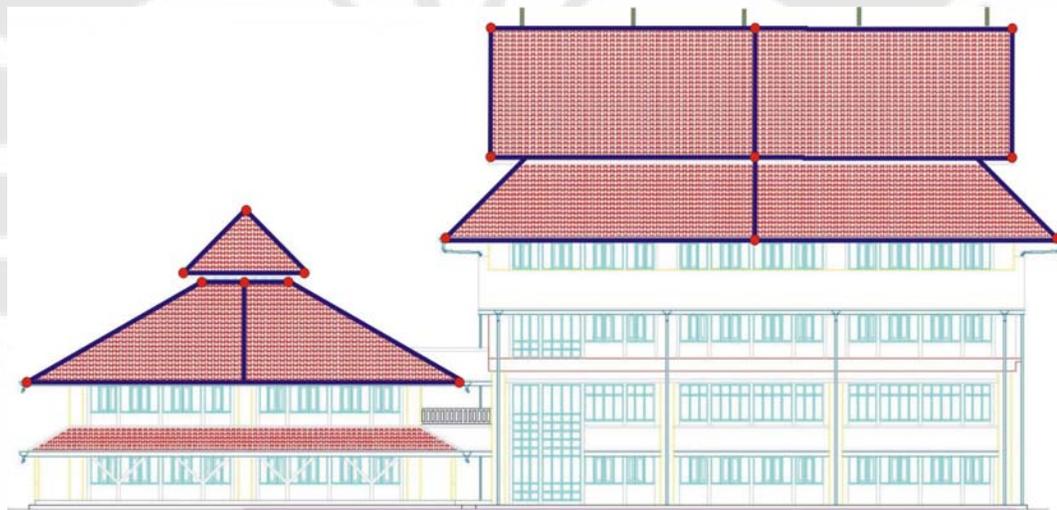
Gambar 4.4 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)



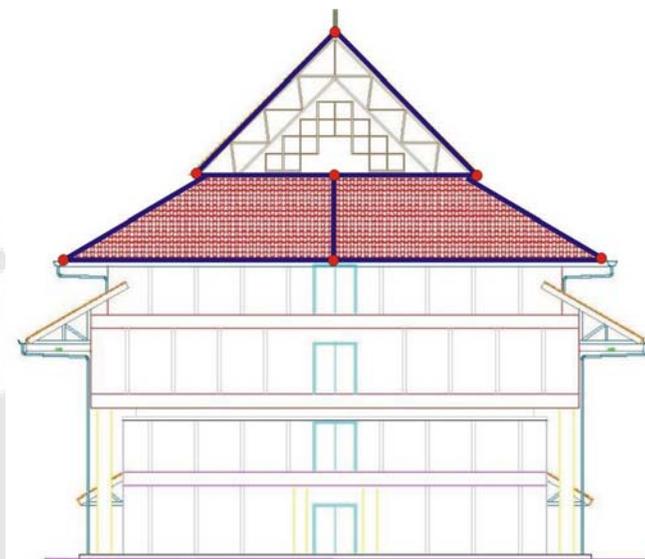
Gambar 4.5 Metode Sudut Perlindungan pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Atas)

4.4 ANALISIS SISTEM TERMINASI UDARA DENGAN MENGGUNAKAN METODE JALA

Metode Jala ini hanya membutuhkan satu parameter untuk menentukan batasan-batasan metode, yaitu tingkat proteksi gedung tersebut. Tingkat proteksi gedung Dep. Elektro FTUI adalah tingkat III oleh karena itu ukuran jala yang akan dipakai dalam penerapan metode jala ini adalah 15 x 15 m, minimum. Dari dimensi gedung dapat kita lihat bahwa panjang atap adalah 20 m, sehingga jala-jala konduktor yang dipasang tidak perlu memiliki luas 15 x 15 m, namun cukup dipasang di sepanjang pinggiran atap dan adanya konduktor yang membagi 2 bagian atap tersebut. Penerapan metode Jala ini dapat kita lihat pada gambar berikut.



Gambar 4.6 Metode Jala pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Samping)



Gambar 4.7 Metode Jala pada Gedung Dept. Elektro FTUI (Tampak Depan)

Dan terlihat dari gambar diatas bahwa sebenarnya *finial* yang telah ada tidak lagi diperlukan apabila metode Jala ini diterapkan pada gedung. Karena pada metode jala telah menempatkan konduktor disetiap titik yang mungkin disentuh oleh bola dari metode bola bergulir yang berarti gedung telah sepenuhnya terlindung dari sambaran petir.

4.5 ANALISIS PERBANDINGAN KETIGA METODE

Pada dasarnya metode Sudut perlindungan adalah penurunan dari metode bola bergulir, tetapi dengan suatu batasan yaitu tidak berlakunya lagi metode ini apabila tinggi bangunan lebih dari jari-jari bola bergulir. Hal ini telah dijelaskan lebih rinci pada bab dasar teori. Sedangkan Metode Jala berpijak pada kemungkinan bahwa daerah pinggir dan sudut adalah daerah yang paling besar kemungkinannya untuk tersambar petir, dan berusaha untuk melindungi seluruh daerah tersebut.

Untuk metode Bola bergulir diperlukan usaha yang cukup banyak, terutama dalam hal penggambaran metode tersebut karena membutuhkan suatu penggambaran 3 dimensi untuk menentukan daerah yang memerlukan perlindungan. Namun metode Bola bergulir dapat memberikan informasi secara

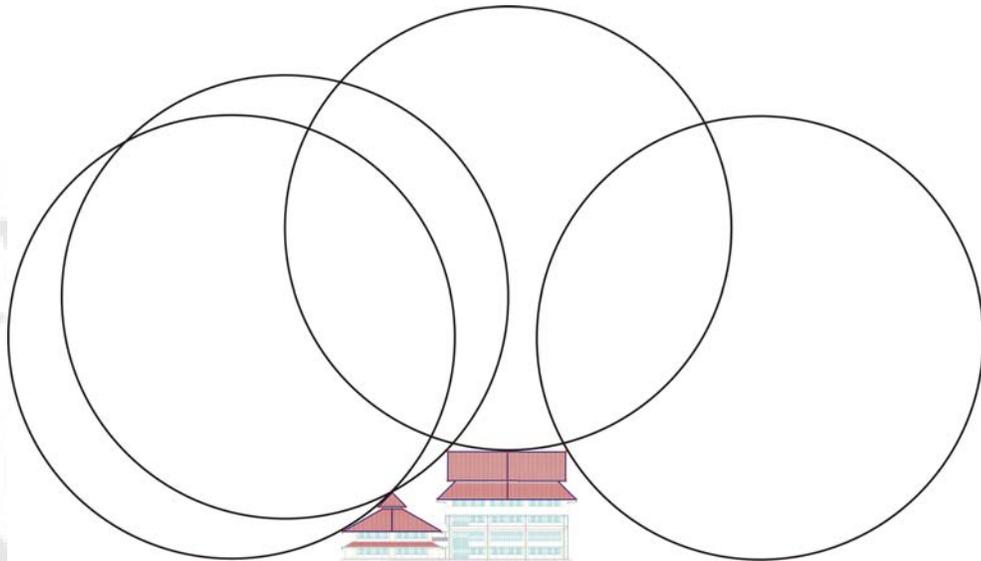
terkait dengan tingkat proteksinya. Selain itu metode bola bergulir ini juga dapat diterapkan untuk semua jenis desain bangunan, baik sederhana maupun rumit untuk menentukan daerah-daerah bangunan yang memerlukan perlindungan. Sedangkan metode sudut perlindungan adalah metode yang terbatas penggunaannya pada evaluasi tingkat efektivitas sistem perlindungan petir yang telah didesain.

Dalam hal penerapannya pada gedung Dept. Elektro FTUI, metode Sudut Perlindungan pada dasarnya lebih cocok untuk mengevaluasi sistem perlindungan petir eksternal yang telah ada, karena lebih sederhananya proses penerapannya. Selain itu bentuk gedung yang tidak terlalu rumit juga memudahkan evaluasi menggunakan sudut perlindungan tersebut. Metode Jala sendiri adalah metode yang memberikan rancangan terminasi udara sendiri, tanpa mengevaluasi sistem terminasi yang sudah ada. Namun, dengan menggunakan metode bola bergulir untuk memberikan evaluasi ulang pada gedung yang telah diberikan sistem terminasi udara Jala, menunjukkan bahwa gedung Dept. Elektro telah terlindungi dengan sempurna.

Metode bola bergulir dan sudut proteksi mengandalkan penempatan terminasi udara, dimana masing-masing terminasi udara memiliki suatu daerah perlindungan, sehingga besarnya biaya yang harus dikeluarkan nantinya akan tergantung dari tingkat proteksi yang akan diberikan, dimana semakin tinggi efisiensi sistem perlindungan petir yang diinginkan maka akan semakin mahal biaya yang harus dikeluarkan karena semakin banyaknya jumlah *finial* yang dibutuhkan akibat semakin kecilnya jari-jari bola pada metode bola bergulir dan semakin kecilnya volume perlindungan pada metode sudut perlindungan.

Metode Jala adalah metode yang paling mudah dalam hal penerapan. Namun kemudahan ini harus dibayar dengan harga yang cukup mahal, karena pemasangan konduktor disepanjang pinggiran atap gedung akan cukup memakan biaya, dan biayanya akan semakin meningkat seiring dengan panjang keseluruhan pinggiran atap yang akan dilindungi. Metode Jala adalah metode yang memberikan tingkat keamanan maksimum, memiliki tingkat kesulitan penerapan

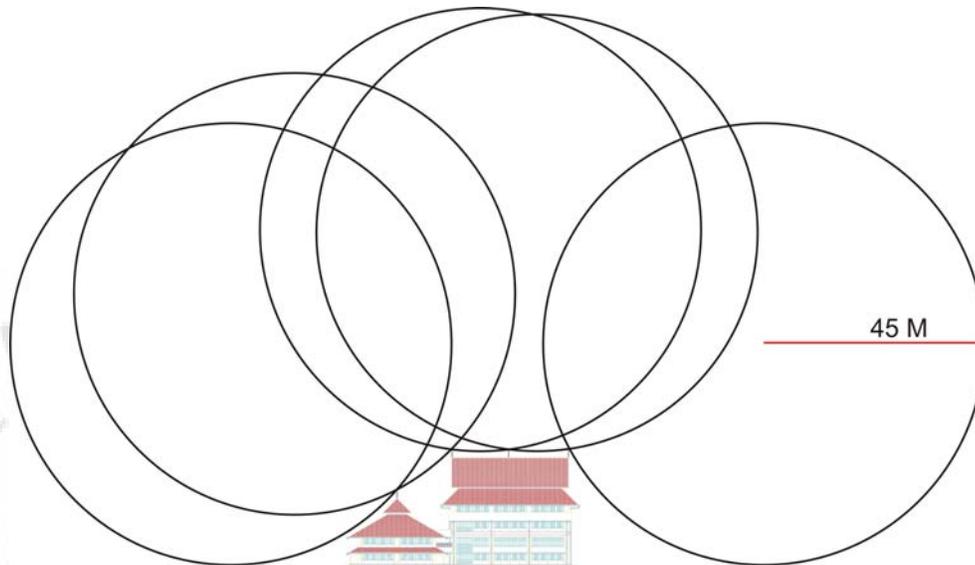
minimum, namun dengan biaya yang paling mahal jika dibandingkan dengan kedua metode yang lain.



Gambar 4.8 Penerapan metode bola bergulir pada gedung yang telah diberi sistem terminasi udara dengan metode jala.

4.6 SARAN UNTUK PERBAIKAN SISTEM PERLINDUNGAN PETIR EKSTERNAL PADA GEDUNG DEPT. ELEKTRO FTUI

Untuk bagian gedung Lab sendiri cukup memasang 3 buah *finial* dengan posisi *finial* dikedua sisi pinggir atap dan 1 buah *finial* dengan jarak 12 meter dari *finial* pada pinggir atap akan memberikan lengkungan (*sag*) sesuai tabel, dimana tingkat proteksi yang digunakan adalah tingkat 3, yaitu 0,4 m untuk lengkungan pada jarak 1 m. Dengan tinggi *finial* standar 1,5 meter, maka lengkungan sebesar 0,4 m ini sudah cukup tercakupi.



Gambar 4.9 Sistem Perlindungan Petir Eksternal yang disarankan, dievaluasi dengan metode Bola Bergulir

Sedangkan untuk memperbaiki sistem perlindungan petir eksternal ini tanpa mengganti *finial* yang sudah ada, karena tersedia lebih *finial* maka cukup memindahkan salah satu *finial* ke atas gedung bagian sekretariat dan membuat jarak antara *finial* paling pinggir dengan *finial* sebelahnya menjadi 6 m. Sehingga lengkungan menjadi 0,10 untuk 2 *finial* dengan jarak 6 m dan 0,18 untuk yang berjarak 8 m. Dengan panjang *finial* yang telah ada yaitu 1 m, maka lengkungan ini telah tercakupi.

Dari tampak depan dapat kita lihat bahwa bagian atap bawah dari bangunan lab masih tersentuh oleh bola. Dari kedua solusi yang telah diajukan sebelumnya diatas, hal ini masih belum dapat teratasi. Untuk mengatasi hal tersebut, dapat dipasang konduktor di sepanjang pinggiran atap bagian bawah, konduktor ini akan dihubungkan dengan konduktor pembumian (*down konduktor*). Namun apabila pada pinggiran atap tersebut telah ada suatu konstruksi yang terbuat dari bahan metal yang bersifat konduktor maka dapat langsung dihubungkan dengan konduktor pembumian.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Metode Bola bergulir sebagai metode dasar yang digunakan untuk menentukan dan mengevaluasi suatu sistem perlindungan petir eksternal, terutama posisi terminal udara, dapat digunakan untuk semua jenis rancangan bangunan, namun membutuhkan usaha yang lebih rumit dalam menerapkannya.
2. Metode Sudut Perlindungan memberikan kemudahan dalam mengevaluasi posisi terminal udara dalam suatu sistem terminasi udara, namun penggunaannya terbatas pada bangunan yang memiliki tinggi lebih rendah daripada jari-jari bola bergulir pada tingkat proteksi yang bersesuaian.
3. Metode Jala adalah metode yang memberikan sistem terminasi udara terbaik, tetapi dalam penerapannya merupakan metode yang paling tinggi biaya pemasangan sistem terminasi udaranya.
4. Hasil evaluasi sistem terminasi udara menggunakan metode Bola Bergulir dan Sudut Perlindungan pada gedung Dept. Elektro FTUI menunjukkan bahwa bagian gedung sekretariat dan atap tingkat pertama dari gedung lab masih terpapar ancaman sambaran petir.
5. Gedung Departemen Elektro FTUI Depok masih membutuhkan perubahan dalam sistem terminasi udaranya untuk mendapatkan suatu sistem perlindungan petir yang efektif.

DAFTAR ACUAN

- [1]. Emmy Hosea , Edy Iskanto, Harnytris M. Luden, “Penerapan Metode Jala, Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra,” Jurnal Teknik Elektro volume 4, nomor 2, (September, 2004), hal 3-4
- [2]. Yudi Ugahari. “*Analisis Metode Collection Volume untuk Proteksi Sambaran Petir Eksternal Studi Kasus Gedung Fakultas Teknik Universitas Indonesia.*” Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, hal. 43.
- [3]. “Petir Terganas Ada di Depan Mata,” *Intisari*, 22 Juli 2002, hal 49.
- [4]. FURSE, A Guide to BS EN 62305 : 2006 Protection Against Lightning (Thomas and Betts : 2006), hal 3.
- [5]. DEHN and SOHNE, Lightning Protection Guide, hal 54.
http://www.dehn.de/english/service/downloads/lp_guide.html

DAFTAR PUSTAKA

Golde, R. H. *Lightning*. Volume 2. London : Academic Press Inc, 1981.

Hasse, Peter. *Overvoltage Protection of Low Voltage System*. London: Peter Peregrinus Ltd, 1987.

IEC 1662 : 1993, *Protection of Structures Against Lightning*. International Electrotechnical Commission 81, 1993.

NFPA 780: *Lightning Protection Code*. National Fire Protection Association, 1992.

Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia. Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.

LAMPIRAN 1

Perhitungan Resiko Sambaran Petir dengan IEC

I. Perhitungan Parameter Sambaran Petir

1. Perhitungan Jumlah Sambaran Petir ke Gedung

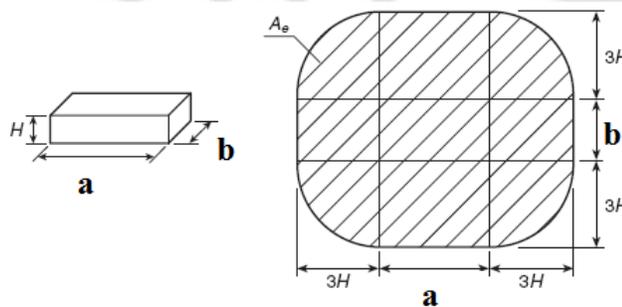
$$N_d = N_g \cdot A_e \dots\dots\dots [a-1]$$

Dengan :

N_d = jumlah sambaran petir ke gedung

N_g = kerapatan sambaran petir ke tanah

A_e = area koleksi efektif, besar A_e yang merupakan luas daerah perlindungan efektif pada suatu gedung didapat melalui:



Gambar A.1. Area koleksi

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

a. $N_g = 4 \cdot 10^{-5} \cdot T^{1.26}$ (sambaran per km² pertahun).....[a-3]

dengan :

T = jumlah hari guruh pertahun berdasarkan IKL

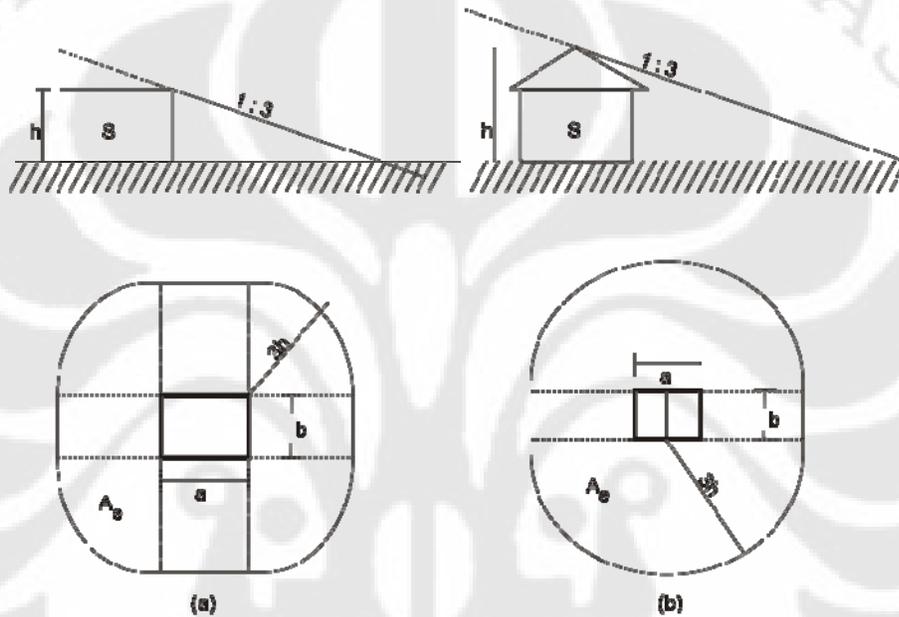
b. Area kolektif efektif, diperoleh dari penentuan titik ujung area sekitar gedung yang sebanding dengan 3 (tiga) kali ketinggian gedung. Lihat gambar (A.2).

Jika area koleksi efektif A_e ini saling bertumpukan dengan area koleksi efektif gedung lain maka A_e yang sudah terbentuk dikurangi dengan area tumpukan A_{ov} yang dapat ditentukan dengan perhitungan dan gambar. Penentuan area tumpukan

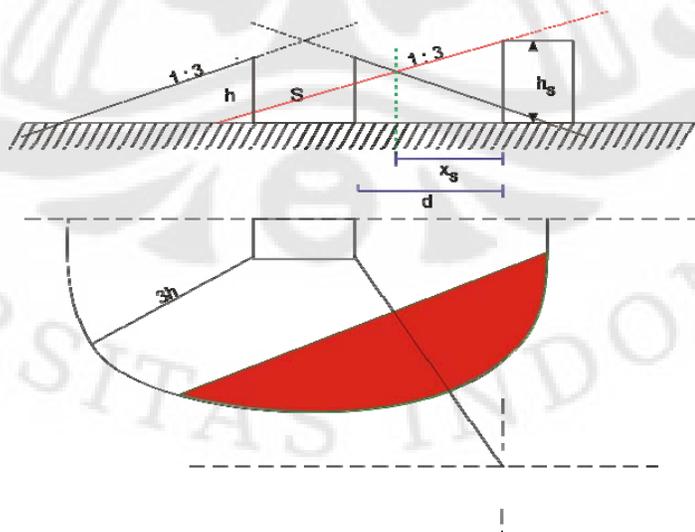
A_{gv} diawali dengan penentuan garis X_s . X_s merupakan jarak dari gedung lain ke titik di area A_g di gedung ini. X_s diperoleh melalui perhitungan :

$$X_s = \frac{a + b(h_s - h)}{2} \dots \dots \dots [a-4]$$

Dari titik X_s ditarik garis yang tegak lurus dengan garis d , hingga menyentuh batas A_g . Daerah tumpukan A_{gv} terlihat pada gambar (A.3) dan area koleksi sebenarnya efektif adalah sebesar $[A_g - A_{gv}]$.



Gambar A.2. Area koleksi efektif A_g
 (a) untuk gedung beratap rata (b) untuk beratap sudut



Gambar A.3. Area tumpukan A_{gv} (berwarna merah), area efektif A_g (tidak berwarna)

2. Perhitungan Jumlah Sambaran ke Tanah dekat/di sekitar gedung

$$N_n = N_g \cdot A_g \dots\dots\dots [a-5]$$

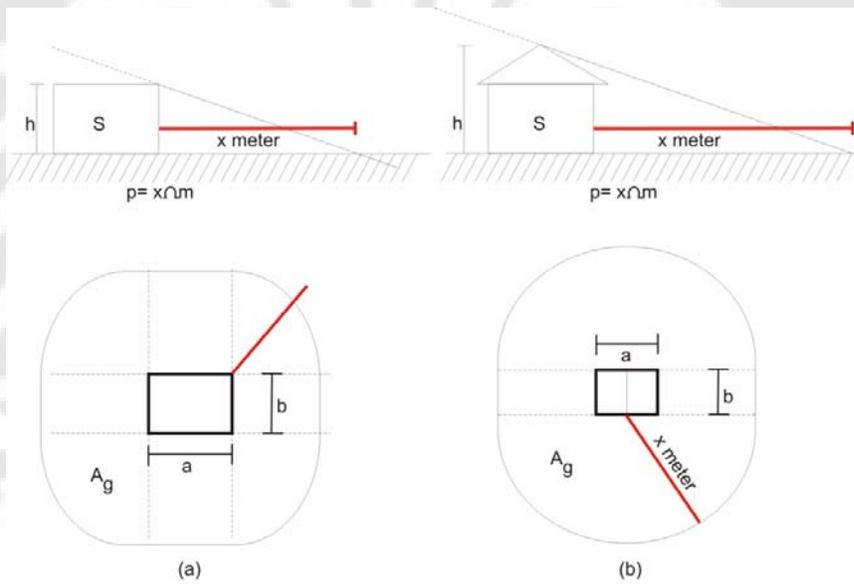
Dengan :

N_n = jumlah sambaran ke tanah dekat gedung

N_g = kerapatan sambaran ke tanah

A_g = area koleksi tanah di sekitar gedung

Area koleksi tanah tidak sama dengan area koleksi efektif. A_g adalah area di sekitar gedung dimana terjadi sambaran ke tanah yang dapat menyebabkan peningkatan atau pergeseran posisi potensial tanah yang dapat mempengaruhi gedung atau sistem-sistem layanan yang masuk ke gedung. Jika A_g , titik ujung area sebanding dengan nilai numeral tahanan tanah spesifik $\rho[\Omega m]$ dalam satuan meter. Kesebandingan numeral ini memiliki besaran maksimum 500. Lihat gambar (A.4).



Gambar A.4. Area koleksi tanah A_g

(a) untuk gedung beratap rata (b) untuk gedung beratap sudut

3. Perhitungan Jumlah Sambaran Petir yang Mempengaruhi Sistem Layanan yang Masuk ke dalam Gedung.

Seperti kita ketahui sistem layanan yang masuk ke dalam gedung contohnya berupa penghantar suplai tenaga listrik dari gardu atau tiang listrik, sambungan telepon dan jaringan komputer. Besar frekuensi sambaran petir yang mempengaruhi Instalasi jasa umum (IJU) dirumuskan sebagai:

$$N_k = N_g \cdot A_k \dots \dots \dots [A.6]$$

$$A_k = A_{s_k} + A_{g_k} \dots \dots \dots [A.7]$$

Dimana:

N_g = frekuensi sambaran petir ke tanah per tahun

A_k = luas daerah yang masih mendapat suplai instalasi jasa umum

A_{s_k} = luas daerah yang memuat perangkat IJU

A_{g_k} = luas gedung yang berdekatan dan terhubung secara langsung maupun tidak langsung dengan jaringan IJU yang sama dengan gedung yang sedang ditinjau

Untuk perhitungan luas jangkauan efektif sebuah IJU (A_{s_k}) dapat dilihat melalui tabel (A-1):

TABEL A-1

Jenis kabel penyalur utama	Luas area efektif (m ²)
SUTR	2000 x L
SUTT	500 x L
SBTTR	2 x d _s x L
SBTTT	0,1 x d _s x L
Saluran udara sinyal	2000 x L
Bawah tanah sinyal	2 x d _s x L
Fiber optik tanpa pelindung metalik	0
Catatan: 1. L adalah panjang kabel dari gedung bersangkutan ke titik cabang atau gedung lain yang terdekat, dengan panjang maksimum 1000 m. Jika tidak diketahui, asumsikan 1000 m. 2. d _s bernilai maksimum 500 m. 3. Untuk nilai A_{s_k} : <ul style="list-style-type: none"> • Jika IJU tidak memakai saluran yang mengandung logam, maka $A_{s_k}=0$. • Jika L < 3h (tinggi gedung), maka $A_{s_k}=0$. • Untuk penghantar berkas, tiap kabel tunggal diperhitungkan sendiri. 	

Dari tabel perhitungan dapat disimpulkan bahwa saluran udara tegangan rendah (SUTR) memiliki luas efektif untuk resiko tersambar petir lebih besar karena SUTR berada paling dekat dengan gedung-gedung.

II. PERHITUNGAN RESIKO-RESIKO

Perhitungan resiko diawali dengan perhitungan probabilitas kerusakan (P) kemudian dilanjutkan dengan perhitungan frekuensi kerusakan (F). target perhitungan adalah membandingkan hasil perhitungan frekuensi kerusakan F dengan maksimum frekuensi kerusakan yang dapat diterima (F_a). Berkaitan dengan resiko akibat fenomena petir ini maka perbandingan tersebut dapat dipakai sebagai acuan,

- Jika sebagai analisa perancangan sistem proteksi petir untuk suatu gedung akan mendapatkan rekomendasi butuh tidaknya sistem tersebut dan label proteksi jika ternyata membutuhkan sistem proteksi petir.
- Jika sebagai bentuk evaluasi sistem proteksi petir suatu gedung, maka akan mendapatkan pernyataan atau kesimpulan sistem proteksi petir tersebut memenuhi atau tidak.

Frekuensi kerusakan akibat sambaran petir pada suatu gedung dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = F_h + F_f + F_o \dots \dots \dots [A.8]$$

Dimana :

F_h = frekuensi untuk tegangan sentuh dan langkah

F_f = frekuensi kerusakan akibat api dan ledakan

F_o = frekuensi kerusakan akibat over voltage

Probabilitas (lemungkinan) kerusakan dijabarkan sebagai berikut ;

1. P_h , probabilitas kerusakan/kecelakaan akibat tegangan sentuh atau langkah
2. P_t , probabilitas kebakaran, ledakan, efek kimia dan efek mekanik yang dipengaruhi oleh probabilitas bahaya spark over yang memicu terjadinya kebakaran atau ledakan (P_t) yang dapat terjadi pada :

- Instalasi metal (P1)
- Instalasi listrik dalam gedung (P2)
- Sistem layanan yang masuk ke gedung (P3)
- Sistem saluran luar yang masuk ke gedung (P4)

3. P_o , probabilitas bahaya kerusakan berupa tegangan lebih yang dapat terjadi pada instalasi listrik dalam gedung (P2) dan sistem layanan yang masuk ke gedung (P3).

III. MENENTUKAN PROBABILITAS KERUSAKAN

Perhitungan probabilitas ini sangat memerlukan panduan dari IEC 1662:1995, sehingga kita dapat menentukan perhitungan frekuensi kerusakan (F).

III.1. Probabilitas kerusakan oleh Tegangan Sentuh dan Langkah (P_h)

Dalam hal ini hanya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diperhitungkan, yaitu melalui rumus:

$$P_h = K_h \cdot P'_h \dots \dots \dots [A.9]$$

$P'_h = P_h$ tanpa tindakan proteksi apapun.

K_h = faktor pengurangan sesuai dengan sistem proteksi petir yang terpasang.

P_h dihitung berkaitan dengan tipe permukaan tanah luar gedung dan ada tidaknya peralatan proteksi. Mengenai ketentuan harga P'_h dan K_h dapat dilihat dari tabel (A-2):

TABEL A-2

Jenis permukaan tanah di luar gedung	R_c (k Ω)	P'_h	Tindakan Proteksi	K_h
Humus	< 1	10^{-2}	Tanpa SPP	1
Marmer	1 - 10	10^{-3}	Dengan SPP	1 - E
Kerikil	10 - 100	10^{-4}	Dengan SPP & Memakai Penyalur	0,5(1-E)
Aspal	>100	10^{-5}		

Catatan:

- Jika biasanya tidak ada orang di luar gedung, asumsikan $P'_h = 0$.
- Jika ada lebih dari satu jenis permukaan tanah, pilih yang nilai P'_h -nya paling tinggi.
- Jika ada lebih dari satu proteksi, nilai akhir K_h adalah nilai hasil kali dari semua tindakan proteksi yang ada.

III.2. Probabilitas kerusakan oleh api, ledakan, efek mekanis dan kimiawi
(P_{td}).

Kerusakan jenis ini dapat disebabkan sumber S_2 atau S_5 seperti yang telah dikemukakan di awal tadi. Probabilitas yang ada mencakup :

P_t : probabilitas dari percikan yang dipicu oleh api atau ledakan yang berbahaya

P_1 : probabilitas dari percikan berbahaya pada instalasi logam

P_2 : probabilitas dari percikan berbahaya dalam instalasi listrik ke gedung

P_3 : probabilitas dari percikan berbahaya pada IJU

P_4 : probabilitas dari percikan berbahaya pada bagian-bagian konduktif di luar IJU

Untuk sambaran langsung berlaku hanya untuk P_1 , P_2 dan P_4 . Sedangkan yang dapat berlaku pada baik sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung adalah P_3 . Perumusan dalam sambaran langsung yang menimbulkan kerusakan berhubungan dengan api, ledakan, efek mekanik dan kimiawi adalah:

$$P_{td} = 1 - [(1 - P_t P_1)(1 - P_t P_2)(1 - P_t P_3)(1 - P_t P_4)] = P_t (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) \dots \dots \dots [a.10]$$

Dihitung berkaitan dengan adanya spark over yang memicu terjadinya kebakaran dan ledakan pada instalasi metal, instalasi listrik dalam gedung, sistem layanan ke dala gedung (siste tenaga atau telekomunikasi) dan saluran luar yang masuk ke gedung (misalkan ; pipa air, pipa gas atau pipa buangan).

a. Probabilitas bahaya spark over pemicu kebakaran atau ledakan (P_t)

$$P_t = P'_t k_t \dots \dots \dots [a.11]$$

P_t dihitung berkaitan dengan karakteristik material gedung dan isinya.

Sedangkan konstanta k_t merupakan keterangan ada tidaknya peralatan proteksi.

Mengenai ketentuan harga P'_t dan k_t dapat dilihat pada tabel (A-3) :

TABEL A-3

Tipe material dan atau isi dalam gedung	P'_t	Fasilitas P3K	K_t
Eksplorisif	1	Tabung semprot	0,9
Flammable	10^{-1}	Konstruksional	0,7
Umum	10^{-3}	Otomatis	0,6
Tidak Flammable	10^{-5}	Satuan Pemadam Kebakaran	0,5
Catatan: 1. Tembok, pintu dan lantai anti api; rute keluar yang terlindungi 2. Sistem deteksi dan pemadam api			

b. Probabilitas kerusakan berupa kebakaran dan ledakan pada instalasi metal (P_1) dan pada instalasi gedung (P_2)

$$P_1 = k_1 P'_1 \dots \dots \dots [A.12]$$

$$P_2 = k_2 P'_2 \dots \dots \dots [A.13]$$

Besar P'_1 , P'_2 , k_1 dan k_2 dapat dilihat melalui tabel (A-4) dan (A-5):

TABEL A-4

Jenis Gedung	P'_1 dan P'_2
Batu bata, batu, kayu atau dinding tidak konduktif dan tidak ada sistem proteksi	1
Bingkai logam atau kolom beton bertulang berjarak 10-20 meter atau ada sistem proteksi level V-1V	0,1 - 0,2
Bingkai logam atau kolom beton bertulang berjarak 3-6 meter atau ada sistem proteksi level I-II	0,05 - 0,08
Dinding berlapisan depan berupa logam (metallic facade) atau beton bertulang tanpa jendela atau hanya ada jendela kecil yang kurang dari 20 % luas dinding gedung	0,005 - 0,001

TABEL A-5

Data Proteksi	k_1 dan k_2
Tidak ada pen-shielding-an (kabel tidak diselubungi)	1
Kabel diselubungi atau tidak ada loop	0,1 - 0,01
Kabel diselubungi dan tidak ada loop	0,01 - 0,001
Kabel serat optik tanpa ada unsur logam	0

c. Probabilitas kerusakan berupa kebakaran atau ledakan pada instalasi sistem layanan

(P_3) dan pada sistem saluran (P_4) yang masuk gedung.

$$P_3 = k_3 P'_3 \dots \dots \dots [A.14]$$

$$P_4 = k_4 P'_4 \dots \dots \dots [A.15]$$

Harga P'_3 dan P'_4 adalah 1 dan konstanta k_3 dan k_4 merupakan keterangan ada tidaknya peralatan proteksi. Mengenai k_3 dan k_4 dapat dilihat pada tabel (A-6) dan (A-7) :

TABEL A-6

Data Proteksi	K_3
Tidak ada pengamanan	1
Isolation Transformer	0,1
Ada divais proteksi (SPD)	0,1 - 0,001
Selubung / isolasi di-bonding ke tanah	0,1 - 0,001
Kabel serat optik tanpa unsur logam	0

Catatan:

1. SPD = Surge Protection Device

2. S = luas penampang selubung

Untuk penentuan nilai K_3 dan SPD tergantung kualitas SPD dan penginstalannya demikian juga penghantar, K_3 tergantung kualitas isolasi/selubung, jumlah dan panjang kabel.

TABEL A-7

Data Proteksi	K_4
Ada divais proteksi (SPD)	0,001
Selubung / isolasi di-bonding ke tanah	0

III.3. Probabilitas kerusakan akibat tegangan lebih (P_o).

Fenomena tegangan lebih dirasakan pada instalasi yang bertegangan listrik seperti instalasi listrik dan instalasi layanan (suplai tenaga listrik dan sistem telekomunikasi) sehingga probabilitas yang relevan untuk perhitungan ini adalah P_2 dan P_3 . Frekuensi kerusakan dapat ditentukan dengan mengalikan probabilitas timbulnya kerusakan dengan jumlah kejadian dari faktor yang menyebabkan kerusakan tersebut. Kita ketahui bahwa kerusakan pada gedung akibat fenomena petir diakibatkan karena sambaran langsung maupun tidak langsung. Dalam perhitungan sebelumnya telah dijelaskan bahwa sambaran langsung adalah sambaran langsung ke gedung (dalam perhitungan N_d) dan sambaran tidak langsung adalah sambaran ke tanah sekitar gedung yang memberikan efek ke dalam gedung (dalam perhitungan N_n) dan sambaran ke sistem layanan yang masuk ke gedung (dalam perhitungan N_k).

Kerusakan berupa tegangan sentuh atau tegangan langkah sudah dipastikan karena sambaran langsung bukan sambaran tidak langsung, sehingga perhitungan F_h dipengaruhi variabel N_d . Kerusakan berupa kebakaran dan ledakan diakibatkan oleh sambaran langsung maupun tidak langsung demikian juga kerusakan berupa tegangan lebih, sehingga perhitungan F_f dan F_o dipengaruhi variabel N_d , N_n dan N_k . Maka perhitungan frekuensi kerusakan F adalah sebagai berikut :

$F = F_h + F_f + F_o$, dengan

[1]

$$F_h = N_g \cdot Ph \dots \dots \dots [A.16]$$

[2]

$$F_f = N_g \cdot Ptd_1 + N_n \cdot Ptd_2 + \sum_1^n N_k \cdot Ptd_3 \dots \dots \dots [A.17]$$

Yaitu :

$$F_f = N_g \cdot Pt(P1 + P2 + P3 + P4) + N_n \cdot Pt(P3) + \sum_1^n N_k \cdot Ptd_3$$

Dengan n = jumlah sistem layanan yang masuk ke gedung

[3]

$$F_o = N_g \cdot Po_1 + N_n \cdot Po_2 + \sum_1^n N_k \cdot Po_3 \dots \dots \dots [A.18]$$

Yaitu:

$$F_o = N_g \cdot (P2 + P3) + N_n \cdot (P3) + \sum_1^n N_k \cdot (P3)$$

IV. PERHITUNGAN FREKUENSI MAKSIMUM

Dengan sudah diketahui frekuensi kerusakan F maka perlu untuk mengetahui besar frekuensi kerusakan yang dapat diterima (maksimum) atau F1.

Frekuensi kerusakan maksimum Fa yang dinyatakan sebagai berikut :

$$Fa = \frac{Ra}{\delta} \dots \dots \dots [A.19]$$

Dimana :

Ra = resiko yang dapat diterima (maksimum)

δ = rata-rata kehilangan

Kerusakan seperti yang sudah dijelaskan sumber-sumber kerusakan pada sub bab sebelumnya (tabel A-8) dapat diklarifikasikan kerugiannya menjadi beberapa tipe yaitu :

1. Merenggut atau kehilangan jiwa manusia
2. Kehilangan pelayanan terhadap masyarakatnya
3. Kehilangan benda bernilai budaya yang tak tergantikan
4. Kehilangan selain manusia, nilai budaya dan sosial (seperti kehilangan harta benda dan peralatan)
5. Kehilangan selain peralatan yang sensitif

TABEL A-8

Tipe Kerusakan	Sumber Kerusakan				
	Fd Sambaran Langsung			Fi Sambaran Tak Langsung	
	Fh	Ff	Fo	Ff	Fo
1	√	√		√	
2		√	√	√	√
3		√		√	
4		√	√	√	√
5		√		√	
√ = sebagai komponen kerusakan					

Dari definisi tipe kerusakan tersebut maka besar rata-rata kehilangan δ dirumuskan sebagai berikut :

a. tipe kerusakan 1 : merenggut atau kehilangan jiwa manusia.

$$\delta = 1 - \left[1 - \frac{t}{8760}\right]^n \dots \dots \dots [A.20]$$

Dimana :

δ = kemungkinan satu orang berada pada tempat berbahaya.

n = jumlah orang pada daerah yang berbahaya.

t = kehadiran orang tersebut pada daerah yang berbahaya [jam/tahun].

b. tipe kerusakan 2 : kehilangan pelayanan terhadap masyarakat.

$$\delta = \frac{n \cdot t'}{n \cdot 8760} \dots \dots \dots [A.21]$$

Dimana :

δ = jumlah kehilangan relatif pada setiap kerusakan.

n = jumlah rata-rata orang yang mengalami kerugian dengan hilangnya pelayanan pada setiap kerusakan.

t' = kehilangan pelayanan per setiap kerusakan [jam/tahun].

n_c = jumlah masyarakat yang harus dilayani.

c. tipe kerusakan 3 : kehilangan barang berharga yang tidak tergantikan.

$$\delta = \frac{S}{R} \dots \dots \dots [A.22]$$

Dimana :

δ = jumlah kehilangan relatif pada setiap kerusakan

C_i = nilai uang yang tidak terjamin pada barang yang rusak pada setiap kerusakan

sesuatu mata uang yang berlaku

C_t = nilai uang yang tidak terjamin pada semua barang sesuai mata uang yang berlaku

d. tipe kerusakan 4 dan 5 : kehilangan yang tidak meliputi manusia, nilai budaya dan sosial.

$$\delta = \frac{C_m}{C_t} \dots \dots \dots [A.23]$$

Dimana :

δ = jumlah kehilangan relatif pada setiap kerusakan

C_m = nilai rata-rata kehilangan maksimum bangunan, perabotan dan barang-barang dalam mata uang yang berlaku pada setiap kerusakan

C_t = jumlah keseluruhan nilai bangunan, perabotan dan barang dalam mata uang yang berlaku

Setelah dapat menentukan nilai δ , maka frekuensi maksimum F_a dapat ditentukan dengan di ketahui besar resiko maksimum R_a yang terdapat pada Tabel A-9.

TABEL A-9

Tipe Kerusakan	R_a
1	10^{-5}
2	10^{-3}
3	10^{-3}
Untuk tipe 4 dan 5 dapat ditentukan nilai khusus.	

Untuk rekomendasi sistem proteksi maka selain frekuensi kerusakan F , juga berdasarkan perbandingan frekuensi kerusakan karena sambaran langsung (F_d) maupun tidak langsung (F_i) terhadap frekuensi kerusakan maksimum F_a . Hal ini untuk spesifikasi sistem proteksi petir yang direkomendasikan. Lihat tabel A-10.

TABEL A-10

Tingkat Resiko	Sistem Proteksi				
	Tidak perlu proteksi	Perlu Divais Proteksi (SPD)	Perlu sistem Proteksi eksternal (LPS)	Perlu sistem proteksi untuk Menghindari pulsa induksi Elektromagnetik (LEMP) Yaitu <i>shielding</i>	Perlu Sistem Proteksi lain
$F \leq F_a$	√				
$F > F_a$ $F_d > F_a$ $F \leq F_a$			√	√	
$F > F_a$ $F_d \leq F_a$ $F > F_a$		√			
$F > F_a$ $F_d \leq F_a$ $F \leq F_a$					√

Rekomendasi kebutuhan suatu sistem proteksi terutama untuk sistem proteksi eksternal tersebut sebagai bentuk kompensasi yang tepat untuk mengusahakan agar frekuensi kerusakan F terutama kerusakan karena sambaran langsung F_d berada dibawah frekuensi maksimum F_a .

$$E = 1 - \frac{F_d}{F_a} \dots \dots \dots [A.24]$$

Dimana :

E = efisiensi sistem proteksi eksternal

F_a = frekuensi kerusakan maksimum

F_d = frekuensi kerusakan karena sambaran langsung

Bentuk kompensasinya adalah suatu sistem proteksi eksternal yang mempunyai level proteksi tertentu yang perancangan dapat mengacu pada IEC 1024-1 : 1993.

TABEL A-11

Level Proteksi	Efisiensi sistem Proteksi eksternal
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

LAMPIRAN 2

Perhitungan Resiko Sambaran Petir dengan IEC 1662 : 1995 Studi Kasus gedung Departemen Elektro di Fakultas Teknik Universitas Indonesia

I. Perhitungan Parameter Sambaran Petir

I.1. perhitungan jumlah sambaran petir ke gedung

$$N_g = N_g \cdot A_g$$

Dimana :

N_g = jumlah sambaran petir ke gedung

N_g = kerapatan sambaran petir ke tanah

A_g = area koleksi efektif

a. $N_g = 11$ sambaran/Km²/Tahun (Data BMG 1991-2006)

b. Area koleksi efektif (A_g)

Gedung jurusan elektro

Jika gedung Jurusan Elektro di daerah terpencil:

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

$$\begin{aligned} &= 47,33 \times 22,15 + 6 \times 22,95 (47,33 + 22,15) + 9 \times 3,14 \times (22,95)^2 \\ &= 25.500,37 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Besar pengaruh gedung-gedung di sekitar gedung elektro pada besar A_g :

a. GKB = 12,74 m²

b. Sipil = 29,99 m²

c. Dekanat = 7,98 m²

d. Arsitektur = 41,83 m²

e. Mesin = 26,66 m²

f. PAF = 40,91 m²

g. Menara RTC=145,64 m²

Sehingga,

$$A_g \text{ Elektro} = 25.194,62 \text{ m}^2 = 0,02 \text{ Km}^2$$

I.2. Perhitungan Jumlah Sambaran ke Tanah dekat/di sekitar gedung

$$N_N = N_g \cdot A_g$$

Dengan :

N_N = jumlah sambaran ke tanah dekat gedung

N_g = kerapatan sambaran ke tanah

A_g = area koleksi tanah di sekitar gedung

a. $N_g = 11$ sambaran/Km²/Tahun (Data BMG 1991-2006)

b. Area koleksi tanah sekitar gedung (A_g)

$$A_g = ab + 6x(a + b) + 9\pi x^2$$

- Gedung Departemen Elektro = 3097,66 m² = 0,003 Km²

I.3. Perhitungan Jumlah Sambaran Petir yang Mempengaruhi Sistem

Layanan yang Masuk ke dalam Gedung.

Seperti kita ketahui sistem layanan yang masuk ke dalam gedung contohnya berupa penghantar suplai tenaga listrik dari gardu atau tiang listrik, sambungan telepon dan jaringan komputer. Besar frekuensi sambaran petir yang mempengaruhi Instalasi jasa umum (IJU) dirumuskan sebagai:

$$N_k = N_g \cdot A_k$$

$$A_k = A_{sk} + A_{sk} ; \text{ dengan :}$$

Jenis kabel penyalur utama	Luas area efektif (m ²)
SUTR	2000 x L
SUTT	500 x L
SBTTR	2 x d _s x L
SBTTT	0,1 x d _s x L
Saluran udara sinyal	2000 x L
Bawah tanah sinyal	2 x d _s x L
Fiber optik tanpa pelindung metalik	0

Catatan:

1. L adalah panjang kabel dari gedung bersangkutan ke titik cabang atau gedung lain yang terdekat, dengan panjang maksimum 1000 m. Jika tidak diketahui, asumsikan 1000 m.
2. d_s bernilai maksimum 500 m.
3. Untuk nilai A_{sk} :
 - Jika IJU tidak memakai saluran yang mengandung logam, maka $A_{sk}=0$.
 - Jika $L < 3h$ (tinggi gedung), maka $A_{sk}=0$.
 - Untuk penghantar berkas, tiap kabel tunggal diperhitungkan sendiri.

Besar N_k diasumsikan = 1.

II. Perhitungan Resiko-resiko

II.1. Ph, Probabilitas kerusakan oleh Tegangan Sentuh dan Langkah

Dalam hal ini hanya tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diperhitungkan, yaitu melalui rumus:

$$P_h = K_h \cdot P'_h$$

$P'_h = P_h$ tanpa tindakan proteksi apapun.

K_h = faktor pengurangan sesuai dengan sistem proteksi petir yang terpasang.

Dimana besar P'_h dan K_h dapat ditentukan melalui tabel :

Jenis permukaan tanah di luar gedung	R _c (kΩ)	P' _h	Tindakan Proteksi	K _h
Humus	< 1	10 ⁻²	Tanpa SPP	1
Marmer	1 - 10	10 ⁻³	Dengan SPP	1 - E
Kerikil	10 - 100	10 ⁻⁴	Dengan SPP	0,5(1-E)
Aspal	>100	10 ⁻⁵	& Memakai Penyalur	

Catatan:

- Jika biasanya tidak ada orang di luar gedung, asumsikan $P'_h = 0$.
- Jika ada lebih dari satu jenis permukaan tanah, pilih yang nilai P'_h -nya paling tinggi.
- Jika ada lebih dari satu proteksi, nilai akhir K_h adalah nilai hasil kali dari semua tindakan proteksi yang ada.

- Instalasi gedung-gedung di teknik memiliki besar R_c kurang dari 1 (sehingga tergolong tanah humus), sehingga nilai P'h sebesar 10⁻².
- Semua gedung-gedung di teknik telah dilengkapi dengan SPP, sehingga besar K_h menjadi (1-E).

Maka,

$$P_h = K_h \cdot P'_h$$

$$P_h = (1 - 0,9)10^{-2} = 0,001$$

II.2. P_{td} , Probabilitas kerusakan oleh api, ledakan, efek mekanis dan kimiawi

Perumusan dalam sambaran langsung yang menimbulkan kerusakan berhubungan dengan api, ledakan, efek mekanik dan kimiawi adalah:

$$P_{td} = 1 - [(1 - P_t P_1)(1 - P_t P_2)(1 - P_t P_3)(1 - P_t P_4)] = P_t (P_1 + P_2 + P_3 + P_4)$$

II.b.1. P_t : probabilitas dari percikan yang dipicu oleh api atau ledakan yang berbahaya

$$P_t = P'_t k_t$$

P_t dihitung berkaitan dengan karakteristik material gedung dan isinya. Sedangkan konstanta k_t merupakan keterangan ada tidaknya peralatan proteksi. Penentuan harga P'_t dan k_t dapat ditentukan melalui tabel :

Tipe material dan atau isi dalam gedung	P'_t	Fasilitas P3K	K_t
Eksplusif	1	Tabung semprot	0,9
Flammable	10^{-1}	Konstruksional	0,7
Umum	10^{-3}	Otomatis	0,6
Tidak Flammable	10^{-5}	Satuan Pemadam Kebakaran	0,5
Catatan: 1. Fasilitas P3K konstruksional adalah adanya alat pemadam kebakaran pada dinding (lemari hidrant) dan pintu keluar darurat. 2. Otomatis adalah adanya detektor dan alarm kebakaran dan splinker atau sistem pemadam otomatis lain (penyemprot CO ₂ otomatis).			

- Gedung Departemen Elektro Fakultas Teknik secara umum tergolong flammable (dapat terbakar), sehingga nilai P'_t adalah 10^{-1} .
- Sementara fasilitas P3K-nya sudah konstruksional, sehingga nilai K_t sebesar 0,7.
- Sehingga, $P_t = 0,1 \cdot 0,7 = 0,07$

II.b.2. P_1 : probabilitas dari percikan berbahaya pada instalasi logam (P_1)
dan pada instalasi listrik gedung (P_2)

Jenis Gedung	P'_1 dan P'_2
Batu bata, batu, kayu atau dinding tidak konduktif dan tidak ada sistem proteksi	1
Bingkai logam atau kolom beton bertulang berjarak 10-20 meter atau ada sistem proteksi level V-1V	0,1 - 0,2
Bingkai logam atau kolom beton bertulang berjarak 3-6 meter atau ada siste proteksi level 1-II	0,05 – 0,08
Dinding berlapisan depan berupa logam (metallic facade) atau beton bertulang tanpa jendela atau hanya ada jendela kecil yang kurang dari 20 % luas dinding gedung	0,005 - 0,001

Data Proteksi	k_1 dan k_2
Tidak ada pen-shielding-an (kabel tidak diselubungi)	1
Kabel diselubungi atau tidak ada loop	0,1 – 0,01
Kabel diselubungi dan tidak ada loop	0,01 – 0,001
Kabel serat optik tanpa ada unsur logam	0

- Instalasi gedung Departemen Elektro Fakultas Teknik sudah memiliki kabel yang terselubung, sehingga $K_1 = K_2 = 0,01$.
- $P'_1 = P'_2 = 1$
- Maka $P_1 = P_2 = 0,01$

II.b.3. P_3 : probabilitas dari percikan atau kebakaran atau ledakan pada instalasi sistem layanan (P_3) dan pada sistem saluran (P_4) yang masuk gedung.

Data Proteksi	K_3
Tidak ada pengamanan	1
Isolation Transformer	0,1
Ada divais proteksi (SPD)	0,1 – 0,001
Selubung / isolasi di-bonding ke tanah	0,1 – 0,001
Kabel serat optik tanpa unsur logam	0
Catatan: 1. SPD = Surge Protection Device 2. S = luas penampang selubung Untuk penentuan nilai K_3 dan SPD tergantung kualitas SPD dan penginstalannya demikian juga penghantar, K_3 tergantung kualitas isolasi/selubung, jumlah dan panjang kabel.	

Data Proteksi	K ₄
Ada divais proteksi (SPD)	0,001
Selubung / isolasi di-bonding ke tanah	0

➤ $P'3 = P'4 = 1$

➤ Saat awal perancangan dianggap tidak ada proteksi, $K3=K4=1$

➤ $P3=P4=1$

Dari Ketiga sub-sub bab diatas yang menjabarkan tentang probabilitas kerusakan oleh api, ledakan, efek mekanis dan kimiawi. Maka dapat dihitung :

$$P_{td} = P_t (P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = 0,07 (0,01 + 0,01 + 1 + 1) = 0,1414$$

II.3. P₀ ,Probabilitas kerusakan akibat tegangan lebih

Untuk sambaran langsung menggunakan P2 dan P3, sedangkan sambaran tidak langsung menggunakan P3.

➤ $P2+P3 = 0,01 + 1 = 1,01$

➤ $P3 = 1$

III. Perhitungan Frekuensi

$$F = F_h + F_t + F_o$$

Dimana :

F_h = frekuensi untuk tegangan sentuh dan langkah

F_t = frekuensi kerusakan akibat api dan ledakan

F_o = frekuensi kerusakan akibat over voltage

[1] $F_h = N_a \cdot P_h$

F_h untuk Gedung Elektro FTUI :

$$\text{Gedung Elektro} = 1 \times 0,001 = 0,001$$

[2] $F_t = N_a \cdot P_{td1} + N_n \cdot P_{td2} + \sum_1^n N_k \cdot P_{td3}$

Yaitu :

$$F_t = N_a \cdot P_t (P1 + P2 + P3 + P4) + N_n \cdot P_t (P3) + \sum_1^n N_k \cdot P_{td3}$$

(n = 3, sistem tenaga masuk gedung, telepon dan internet)

$$\text{Gedung Elektro} = (1 \times 0,1414) + (1 \times 0,07 \times 1) + (3 \times 1 \times 0,07 \times 1) = 0,4214$$

[3] $F_o = N_a \cdot P_{o1} + N_n \cdot P_{o2} + \sum_1^n N_k \cdot P_{o3}$

Yaitu:

$$F_o = N_{d1} \cdot (P2 + P3) + N_{d2} \cdot (P3) + \sum_{i=1}^n N_{d3} \cdot (P3)$$

$$\text{Gedung Elektro} = (1 \times 1,01) + (1 \times 1) + (3 \times 1 \times 1) = 5,01$$

Sehingga besar frekuensi total kerusakan adalah :

$$F = F_h + F_t + F_o$$

$$\text{Gedung Elektro} = 0,001 + 0,4214 + 5,01 = 5,4324$$

Dan besar frekuensi akibat sambaran langsung adalah :

$$F_d = N_{d4} \cdot P_h + N_{d4} \cdot P_t \cdot (P1 + P2 + P3 + P4) + N_{d4} \cdot (P2 + P3)$$

$$\text{Gedung Elektro} = 0,001 + 0,1414 + 1,01 = 1,1524$$

Tingkat Resiko	Sistem Proteksi				
	Tidak perlu proteksi	Perlu Divais Proteksi (SPD)	Perlu sistem Proteksi eksternal (LPS)	Perlu sistem proteksi untuk Menghindari pulsa induksi Elektromagnetik (LEMP) Yaitu <i>shielding</i>	Perlu Sistem Proteksi lain
$F \leq F_a$	√				
$F > F_a$ $F_d > F_a$ $F_i \leq F_a$			√	√	
$F > F_a$ $F_d \leq F_a$ $F_i > F_a$		√			
$F > F_a$ $F_d \leq F_a$ $F_i \leq F_a$					√

Dari hasil perhitungan potensi-potensi sambaran petir yang mengancam gedung Departemen Elektro FTUI maka kebutuhan akan proteksi petir baik eksternal maupun internal cukup besar. Hal ini bertujuan untuk meminimalisasi besar total kerusakan akibat sambaran petir (F) terutama besar kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran langsung (F_d) berada dibawah frekuensi minimum (F_a).

$$F = 1 - \frac{F_a}{F_d}$$

Dimana :

E = efisiensi sistem proteksi eksternal

Fa = frekuensi kerusakan maksimum

Fd = frekuensi kerusakan karena sambaran langsung

Bentuk kompensasinya adalah suatu sistem proteksi eksternal yang mempunyai level proteksi tertentu yang perancangan dapat mengacu pada IEC 1024-1 : 1993.

Level Proteksi	Efisiensi sistem Proteksi eksternal
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Dengan besar $F_d = 1,1524$ dan besar $E = 0,90$, berarti frekuensi kerusakan maksimum yang mungkin terjadi adalah $F_a = 0,11524$.