

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah dipanjatkan ke hadirat ALLAH SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang” dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Disadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak, penyelesaian skripsi ini tidak mungkin dapat terwujud. Pada kesempatan ini disampaikan rasa terima kasih yang tulus kepada :

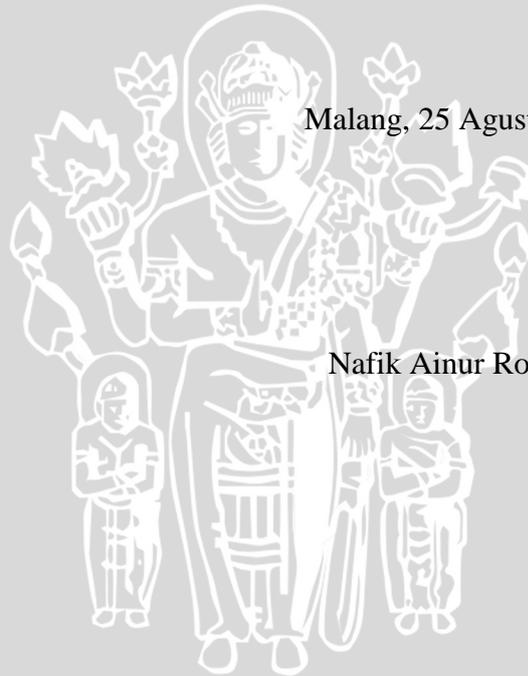
1. Bapak M. Azis Muslim, ST., MT., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Beliau juga telah memberikan bantuan dan dukungan dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
3. Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah memberikan motivasi.
5. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun.
6. Bapak Ir. Soemarwanto, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan pengarahan dan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini serta atas segala bentuk bantuan dan saran yang membangun
7. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya serta Keluarga Besar Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Bapak dan Ibu, orang tua yang telah memberikan doa tiada tara serta adik laki-laki saya yang memberikan semangat dan dukungan. Skripsi ini seutuhnya dipersembahkan untuk kedua orang tua

9. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2009 (AMPERE) banyak kenangan indah yang telah kita ukir dengan kebersamaan dan kekeluargaannya.
10. Pihak-pihak lain yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik yang tidak dapat disebutkan satu-persatu secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat dibutuhkan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

Malang, 25 Agustus 2016



Nafik Ainur Rohman

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
RINGKASAN.....	x
SUMMARY.....	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Pembahasan.....	3
2.1 Petir.....	5
2.2 Kerapatan Sambaran Petir dan Hari Guruh.....	7
2.3 Parameter Petir.....	8
2.3.1 Arus puncak (I_m).....	9
2.3.2 Muatan Arus Petir (Q).....	9
2.3.3 Arus Kuadrat Impuls atau Energi Spesifik.....	10
2.3.4 Kecuraman arus petir (di/dt).....	10
2.4 Sistem proteksi petir.....	12
2.5 Sistem Proteksi Petir pada Bangunan.....	13
2.6 Daerah Lindung Penangkap Petir.....	17
2.7 Penentuan Daerah Lindung menggunakan metode Bola Gelinding.....	18
2.8 Komponen Sistem Proteksi Eksternal.....	20

2.8.1	Terminasi Udara (<i>air termination system</i>)	20
2.8.2	Penghantar Penyalur (<i>Down Conductor</i>)	23
2.8.3	Sistem Pentanahan (<i>Grounding</i>)	25
BAB III.....		31
METODOLOGI		31
3.1	Studi Literatur.....	31
3.2	Pengambilan Data.....	31
3.2.1	Data Primer	31
3.2.2	Data Sekunder	31
3.3	Perhitungan dan Analisis Data	32
3.4	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	34
BAB IV		35
PEMBAHASAN		35
4.1	Penentuan Kebutuhan Proteksi.....	37
4.1.1	Penentuan Kebutuhan Proteksi Gedung.....	38
4.1.2	Penentuan Efisiensi Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Klasifikasi Level Proteksi Gedung.....	39
4.2	Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Metode Bola Glinding.....	41
4.2.1	Perhitungan Jarak Sambar Petir	41
4.2.2	Penentuan Daerah Lindung	41
4.3	Perancangan Sistem Terminasi udara (<i>Finial</i>)	43
4.3.1	Penentuan peletakan terminasi udara	43
4.3.2	Penentuan bahan sistem terminasi udara.....	49
4.4	Perancangan Sistem Penghantar Penyalur (<i>Down Conductor</i>)	55
4.4.1	Tata Letak Penghantar Penyalur (<i>Down Conductor</i>).....	55
4.4.2	Penentuan Bahan Penghantar Penyalur (<i>Down Conductor</i>)	55

4.5	Penentuan Pentanahan	61
4.5.1	Data Hasil Pengukuran	61
4.5.2	Analisis Data Pengukuran	64
4.5.3	Tegangan langkah.....	67
BAB V		69
PENUTUP		69
5.1	Kesimpulan	69
5.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....		71
LAMPIRAN I.....		73
	Foto Alat	73
LAMPIRAN 2		75
	KYORITSU 4105A User Manual.....	75
LAMPIRAN 3		87
	Data Fisik Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang	87
LAMPIRAN 4		91
	Data Hari Guruh Kota Malang Tahun 2013	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir.....	6
Gambar 2.2 Perbandingan Hari Guruh di Beberapa wilayah Indonesia	8
Gambar 2.3 Kecuraman Maksimum Arus Petir (di/dt).....	11
Gambar 2.4 Parameter-parameter Petir	12
Gambar 2.5 Daerah lindung menurut metode elektro-geometri	18
Gambar 2.6 Proteksi Gedung Menggunakan Metode Bola Gelinding.....	19
Gambar 2.7 Peletakan Mesh pada Gedung yang Diproteksi Menggunakan Metode Bola Bergulir.....	20
Gambar 2.8 Desain sistem terminasi udara menggunakan metode bola gelinding.....	21
Gambar 2.9 kedalaman penetrasi p dari bola bergulir	21
Gambar 2.10 Sistem proteksi udara untuk SPP atap dengan daerah peerlindungannya.	22
Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Sekitar Satu Batang Elektroda	26
Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Sekitar Dua Batang Elektroda.....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penentuan Tingkat Proteksi Petir.....	34
Gambar 4.1 Total Luas Area Gedung kawasan terpadu Blimbing Kota Malang	35
Gambar 4.2 Gedung kawasan terpadu Blimbing Kota Malang	36
Gambar 4.3 Bola gelinding yang terbentuk pada gedung (tampak depan)	43
Gambar 4.4 Daerah lindung yang terbentuk pada gedung (tampak samping).....	44
Gambar 4.5 Bola gelinding yang terbentuk pada gedung (tampak samping)	46
Gambar 4.6 Daerah lindung yang terbentuk pada gedung (tampak samping).....	47
Gambar 4.7 Daerah lindung yang terbentuk pada gedung (tampak atas)	48
Gambar 4.8 Tampak depan letak batang finial pada gedung	52
Gambar 4.9 Tampak samping letak batang finial pada gedung	53
Gambar 4.10 Tampak atas letak batang finial pada gedung	54
Gambar 4.11 Tampak atas sistem penghantar penyalur pada gedung	56
Gambar 4.12 Tampak depan sistem penghantar penyalur pada gedung	57

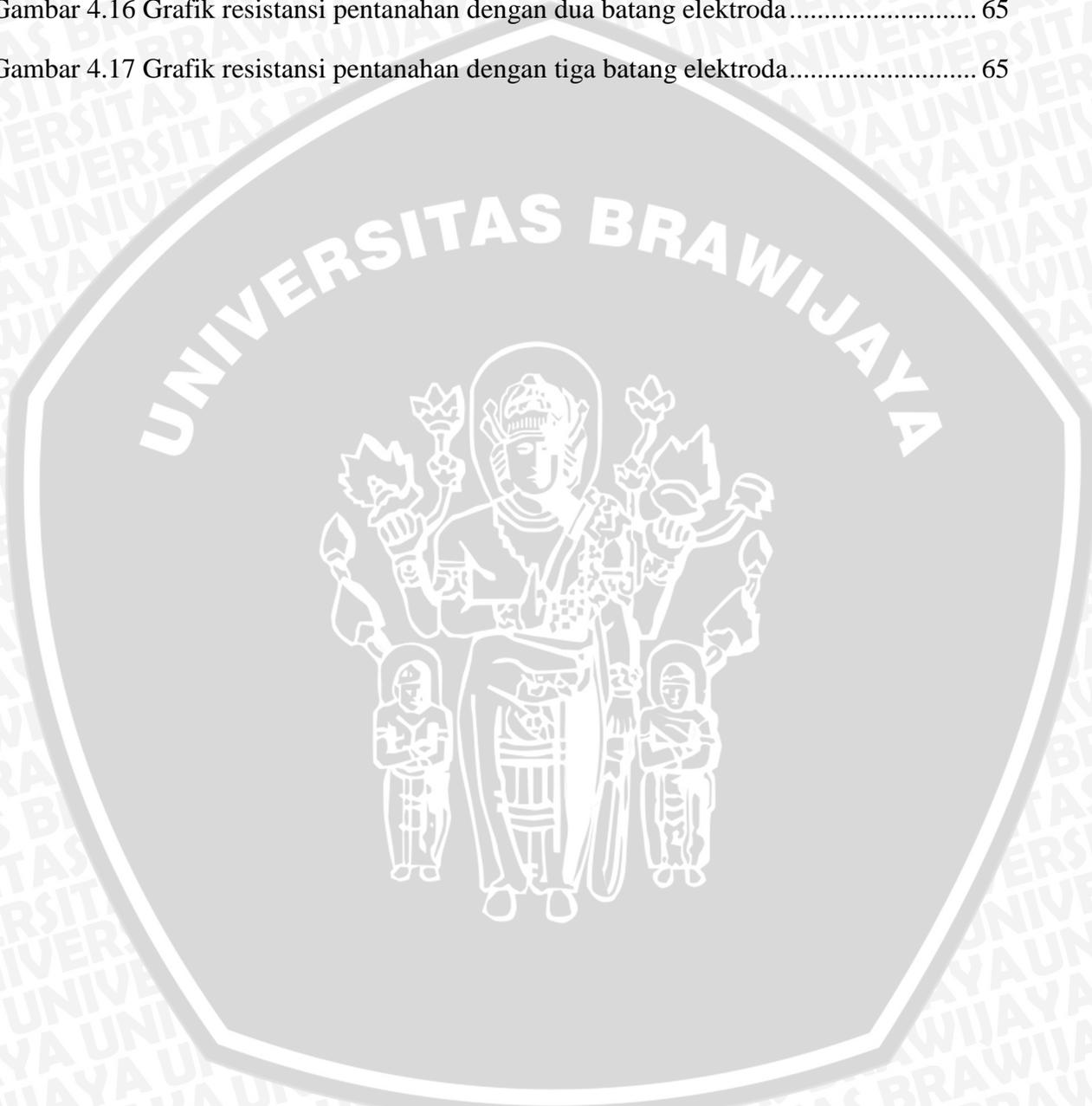
Gambar 4.13 Tampak atas sistem penghantar penyalur pada gedung..... 58

Gambar 4.14 Gambar letak pengukuran resistansi tanah 63

Gambar 4.15 Grafik Resistansi Pentanahan dengan satu batang elektroda..... 64

Gambar 4.16 Grafik resistansi pentanahan dengan dua batang elektroda..... 65

Gambar 4.17 Grafik resistansi pentanahan dengan tiga batang elektroda..... 65



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai batas muatan arus petir menurut hasil pengukuran Berger	9
Tabel 2.2 Nilai kuadrat impuls menurut perhitungan Berger.....	10
Tabel 2.3 Nilai batas kecuraman arus petir menurut perhitungan Berger.....	11
Tabel 2.4 Indeks A : Bahaya berdasarkan Jenis Bangunan.....	13
Tabel 2.5 Indeks B: Bahaya berdasarkan konstruksi Bangunan	14
Tabel 2.6 Indeks C: Bahaya Berdasarkan tinggi Bangunan.....	14
Tabel 2.7 Indeks D: Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan	14
Tabel 2.8 Indeks E: Bahaya Berdasarkan Hari Guruh	15
Tabel 2.9 Perkiraan Bahaya Sambaran Petir berdasarkan PUIPP.....	15
Tabel 2.10 Faktor Site (Cd).....	16
Tabel 2.11 Efisiensi Sistem Proteksi Petir	17
Tabel 2.12 Lengkungan bola bergulir diatas dua tiang udara atau dua konduktor penghenti udara yang sejajar.....	22
Tabel 2.13 Bahan Sistem Proteksi Petir dan Kondisi Penggunaan.....	23
Tabel 2.14 Dimensi minimum down conductor.....	24
Tabel 2.15 Tabel minimum lempengan logam pada sistem terminasi udara	24
Tabel 2.16 Nilai tipikal jarak antar penghantar penyalur dan antar cincin penghantar sesuai dengan tingkat proteksi	25
Tabel 2.17 Harga Tahanan Jenis Beberapa Unsur Tanah	27
Tabel 2.18 Nilai Parameter b untuk tingkat parameter yang berbeda.....	28
Tabel 2.19 Nilai ekivalen resitansi bumi.....	28
Tabel 2.20 besar tegangan langkah yang diizinkan.....	30
Tabel 4.1 Data hari guruh Kota Malang tahun 2013.....	37
Tabel 4.2 Tabel karakteristik gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang.....	37
Tabel 4.3 Hasil Hengukuran Resistansi Tanah Titik A.....	62

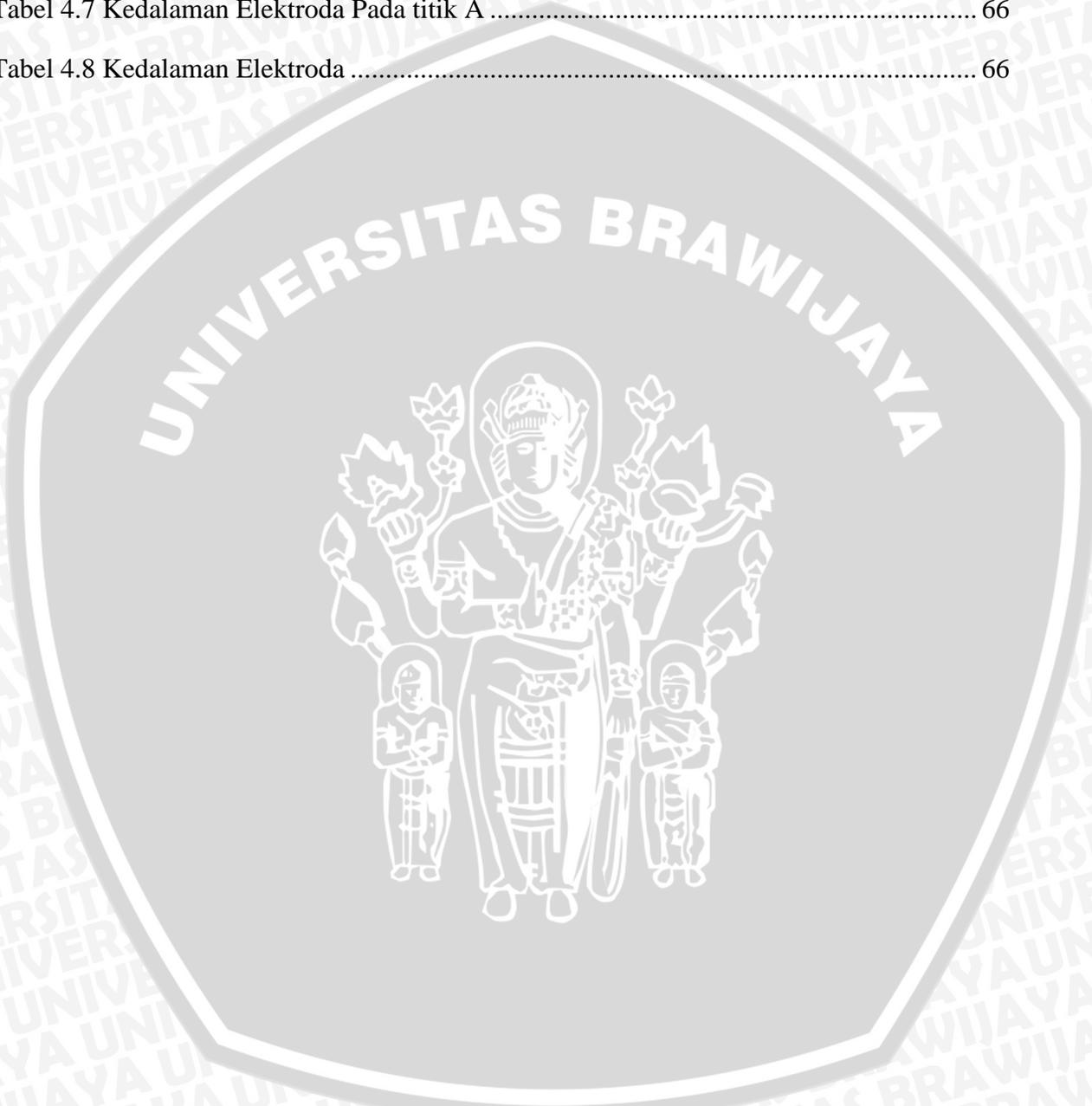
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Resistansi Tanah 62

Tabel 4.5 Hasil Regresi Geometris Resistansi Tanah titik A 64

Tabel 4.6 Hasil Regresi Geometris Resistansi Tanah..... 64

Tabel 4.7 Kedalaman Elektroda Pada titik A 66

Tabel 4.8 Kedalaman Elektroda 66



RINGKASAN

NAFIK AINUR ROHMAN, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Agustus 2016, *Perancangan Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang*, Dosen Pembimbing : Moch. Dhofir dan Soemarwanto

Skripsi ini berisi mengenai perancangan sistem proteksi petir eksternal yang dibutuhkan pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang. Pada perancangan ini dilakukan pengambilan data mengenai hari guruh Kota Malang yang digunakan untuk menentukan efisiensi proteksi petir. Sesuai dengan perhitungan, gedung ini setidaknya membutuhkan sistem proteksi petir dengan efisiensi 89,1% yang berarti bahwa sistem ini memroteksi 89,1% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang. Berdasarkan analisis menggunakan metode bola gelinding pada gedung tersebut, maka terbentuk daerah lindung serta bagian-bagian gedung yang memungkinkan untuk terjadinya sambaran petir. Pada perancangan sistem proteksi petir ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu perancangan sistem terminasi udara (*finial*), perancangan sistem penghantar penyalur dan perancangan pentanahan. Pada perancangan sistem proteksi eksternal ini, sistem terminasi udara yang dibutuhkan oleh gedung, sesuai dengan karakteristik bangunan dan klasifikasinya, sebanyak 65 batang finial dengan tinggi 2 meter dan 3 batang finial dengan tinggi 5 meter. Sistem penghantar penyalur yang dibutuhkan sebanyak 39 buah penghantar. Sedangkan sistem pentanahan yang dibutuhkan untuk gedung ini sebanyak 39 buah pentanahan dan untuk mendapatkan tahanan pentanahan kurang dari 1 ohm tiap-tiap pentanahan tersusun atas 2 batang elektroda yang dipasang secara vertikal dengan panjang paling tidak 14,8 meter. Perancangan sistem proteksi eksternal ini mampu melindungi gedung dari 91% sambaran petir ke tanah.

Kata Kunci : petir, sistem proteksi petir eksternal, gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang

SUMMARY

NAFIK AINUR ROHMAN, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in August 2016, *External Lightning Protection System Design For Integrated Building Area In Blimbing Malang*, Lectured by: Moch. Dhofir and Soemarwanto

This thesis shows the design of external lightning protection system that needed at integrated building area in Blimbing, Malang. In this design, data collection of Climate Thunder is needed to determine the efficiency of lightning protection. In accordance with the calculations, this building needs at least a lightning protection system with an efficiency of 89.1%, which means that the system is protect 89.1% of all lightning strikes to the ground while the rest is arisk that buildingstruck by lightning which pass the protection system installed. Based on an analysis using the rolling ball method at the building, then formed a protected area in parts of the building from the occurrence of lightning strikes. In this design of a lightning protection system, divided into three stages, the design of the air termination system (finial), system design of the down conduction and the design of grounding protection. In this external protection system design, termination system of air required by the building is according to the characteristics of the building and its classification, using 65 rod finial with a height of 2 meters and 3 rod finial with a height of 5 meter. Down Conductive system required 39 pieces of conductor. While the grounding system that required for this building are 39 pieces of grounding rod to get the resistance less than 1 ohm. Each grounding rod composed by two electrodes placed vertically at least 14.8 meters long. The design of this external protection system is capable of protecting buildings from 91% a lightning strike to the ground.

Keywords: Lightning, External Lightning Protection System, integrated building area in Blimbing Malang



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setelah bertahun-tahun pasar Blimbing Kota Malang Jawa Timur menjadi tempat para penjual menjajakan dagangannya, pada tahun 2013 telah direncanakan pembangunan gedung kawasan pasar terpadu Blimbing dimana gedung itu memiliki luas tanah $\pm 3385,2 m^2$ dimana gedung tertinggi akan memiliki lima belas lantai dengan tinggi 59,5 m, perencanaan struktur zona gedung Gedung dibagi menjadi Trade Center (lantai 1-5 dan Apartemen (lantai 6-15), Gedung Condotel 15 lantai, Gedung Trade Center 5 lantai (lantai 1-3 ruko, lantai 3-5 Trade Center), Gedung Pasar Tradisional Utara (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir) dan Gedung Pasar Tradisional Selatan (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir) (sumber: unit usaha dan kerjasama bidang penelitian dan pengabdian kepada masyarakat fakultas teknik universitas brawijaya malang). Mengingat tingginya hari guruh di Indonesia dan tingginya bangunan yang sebanding lurus dengan probabilitas terjadinya sambaran petir, maka diperlukan suatu sistem proteksi petir untuk meminimalisir bahkan meniadakan dampak sambaran petir.

Dibandingkan beberapa negara lain, Indonesia memiliki hari guruh yang cukup tinggi. Berdasarkan data Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Indonesia, hari guruh tersebut berkisar antara 100-200 hari per tahun sedangkan hari guruh maksimum di beberapa negara yakni Eropa sebanyak 30 hari guruh, Amerika 100 hari guruh, Jepang 80 hari guruh, dan Korea 80 hari guruh (sumber: <http://www.republika.co.id/berita/nasional/umum>). Hal itu disebabkan karena Indonesia dilalui garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis, sehingga Indonesia memiliki hari guruh rata-rata pertahun sangat tinggi dibandingkan negara-negara lainnya. Dengan demikian hal ini akan memungkinkan banyak terjadinya bahaya sambaran petir terlebih terhadap bangunan pencakar langit.

Petir sendiri merupakan fenomena alam yang mengandung muatan listrik dengan arus dan tegangan yang sangat besar dalam orde waktu yang sangat singkat. Ketika petir menyambar disalurkan tegangan rendah yang dekat dengan transmisi di bangunan, maka transien tegangan dan arus yang diakibatkan petir akan berdampak negatif pada sistem kelistrikan di bangunan tersebut. Ada 2 macam sambaran petir yaitu sambaran langsung dan sambaran tak langsung. Pada sambaran langsung petir menyambar tepat pada sistem kelistrikan, sedangkan pada sambaran tak langsung kanal petir akan menginduksi transmisi

atau peralatan elektronika. Untuk melindungi dan mengurangi dampak sambaran petir tersebut maka diperlukan suatu sistem proteksi pada bangunan tersebut.

Sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem proteksi petir eksternal dan sistem proteksi petir internal. Sistem proteksi petir eksternal adalah sistem instalasi dan alat-alat di luar sebuah struktur yang berfungsi pertama kali menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan. Proteksi eksternal yang baik terdiri atas *air terminal interceptor*, *down conductor*, dan *earthing system*.

Di dalam skripsi ini akan dilakukan perancangan sistem proteksi petir eksternal untuk pasar tersebut, yang meliputi penentuan daerah lindung, distribusi arus petir, dan pentanahannya. Dengan mengetahui level atau tingkat proteksi pada bangunan, pendefinisian daerah lindung menggunakan metode bola gelinding (*rolling sphere method*) dan pengadaan sistem pentanahan maka dapat diketahui kebutuhan proteksi petir pada gedung kawasan pasar terpadu blimbing Kota Malang.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada penelitian adalah sebagai berikut :

1. Berapa tingkat proteksi petir yang dibutuhkan pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang.
2. Bagaimana perancangan sistem proteksi eksternal petir pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam perancangan pada skripsi ini, adalah:

1. Sistem proteksi petir eksternal yang dirancang adalah sistem proteksi petir eksternal pada Gedung Kawasan Terpadu Belimbing Kota Malang
2. Sistem proteksi petir eksternal yang dirancang meliputi perhitungan probabilitas sambaran, tingkat proteksi dan jarak sambar petir pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang

3. Sistem proteksi petir eksternal yang dirancang meliputi perancangan daerah lindung, tata letak finial dan konduktor faraday serta sistem pentanahan pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang
4. Klasifikasi gedung yang digunakan berdasarkan PUIPP (Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir)
5. Sistem proteksi petir eksternal yang dirancang mengacu pada SNI 03-7015-2004 dan IEC 62305.

1.4 Tujuan

Tujuan penyusunan skripsi ini adalah merancang tingkat proteksi petir dan sistem proteksi eksternal terhadap sambaran petir langsung pada gedung kawasan pasar terpadu blimbing kota Malang.

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penyusunan laporan skripsi ini adalah sebagian berikut:

- BAB 1 :** Berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan sistematika pembahasan.
- BAB 2 :** Memuat tentang perencanaan sistem proteksi eksternal terhadap sambaran petir langsung dan teori-teori lain yang mendukung perencanaan tersebut.
- BAB 3 :** Menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk perencanaan sistem proteksi eksternal terhadap sambaran petir langsung meliputi metode pengambilan data, analisis data dan penarikan kesimpulan.
- BAB 4 :** Melakukan perencanaan sistem proteksi eksternal terhadap sambaran petir langsung berdasarkan data primer dan data sekunder yang diperlukan dalam perancangannya.
- BAB 5 :** Memuat kesimpulan dan saran yang didapat dari hasil perancangan yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

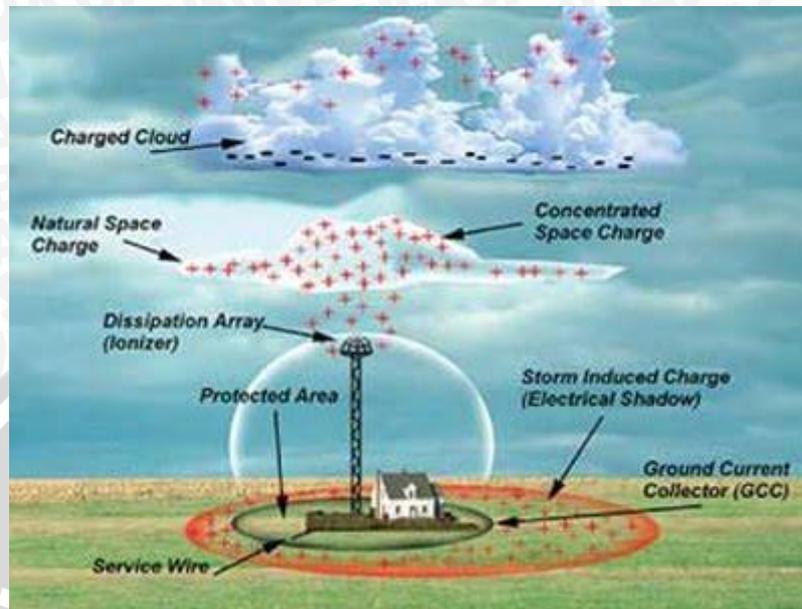
2.1 Petir

Petir, kilat, atau halilintar adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan disaat langit memunculkan kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar yang disebut guruh. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya.

Petir merupakan gejala alam yang bisa kita analogikan dengan sebuah kondensator raksasa, dimana ITabelng pertama adalah awan (bisa ITabelng negatif atau ITabelng positif) dan ITabelng kedua adalah bumi (dianggap netral). Seperti yang sudah diketahui kapasitor adalah sebuah komponen pasif pada rangkaian listrik yang bisa menyimpan energi sesaat (energy storage). Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (*intercloud*), dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif. Petir dapat terjadi karena adanya perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Awan yang terus bergerak secara teratur akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pelepasan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pelepasan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena terdapat awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan.

Rata-rata setiap petir mempunyai 4 hingga 5 jalur utama akibat ionisasi. Persiapan pelepasan elektron melalui jalur ini membutuhkan waktu sekitar 10 milidetik, setelah itu terjadi petir dengan waktu transfer sekitar 0,4 milidetik. Setelah terjadinya petir, membutuhkan waktu istirahat (30 – 50 milidetik) untuk mempersiapkan kembali petir berikutnya. Rata-rata kuat arus dalam petir sebesar 20 kiloampere. Arus yang sangat besar dapat menyebabkan elektron mengalir dari awan menuju ke permukaan tanah, sehingga petir yang melalui proses ini disebut petir negatif. Sedangkan petir positif adalah petir yang

terjadi disebabkan adanya loncatan pendek listrik dari permukaan tanah ke awan. Petir positif memiliki arus yang lebih kuat dari petir negatif, yakni 300 kiloampere. Proses terjadinya petir dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir

sumber :<http://nautika-murdiansyah.blogspot.com/2011/04/petir.html>

Adapun mekanisme terjadinya sambaran petir ke bumi terdiri dari tahapan-tahapan berikut:

a) *Initial Leader*

Sambaran dari suatu petir didahului oleh *pilot streamer* yang diawali dengan penempatan muatan dari awan ke awan yang ionisasinya rendah. Sesudah *pilot streamer* ini terjadi akan diikuti oleh titik cahaya yang bergerak secara melompat-lompat yang disebut *stepped leader*, yang mempunyai bagian-bagian yang menyambung sampai bumi. Kecepatan dari *stepped leader* diperkirakan mencapai 10^5 m/detik. Arah tiap-tiap langkah dari *stepped leader* berubah-ubah sehingga akan menyebabkan jalannya tidak lurus dan terputah-putah. Ketika lidah menuju bumi, cabang-cabang dari lidah utama akan terbentuk.

Bila *stepped leader* telah dekat bumi, akan terjadi kanal muatan positif dari bumi ke awan, karena adanya beda potensial yang tinggi, kanal muatan positif ini akan bertemu dengan ujung *stepped leader* dan titik pertemuan ini disebut dengan *point of strike* yang berada 20 sampai 70 meter di atas permukaan bumi.

b) *Return Stroke*

Ketika lidah petir mengenai bumi, suatu sambaran balik yang sangat terang bergerak ke atas melalui jalan yang sama, *return stroke* terjadi karena aliran muatan positif dari awan ke bumi. Sesudah *return stroke* yang pertama, biasanya terjadi sambaran-sambaran berikutnya karena pada bagian lain dari awan mempunyai cukup banyak muatan. Arus kilat pada setiap sambaran biasanya dihubungkan dengan pelepasan muatan, dengan arus puncak 1 kA sampai 20 kA. Arus kilat ini memiliki bentuk gelombang impuls dengan harga puncak dapat dicapai dalam orde mikrodetik.

c) *Multiple Stroke*

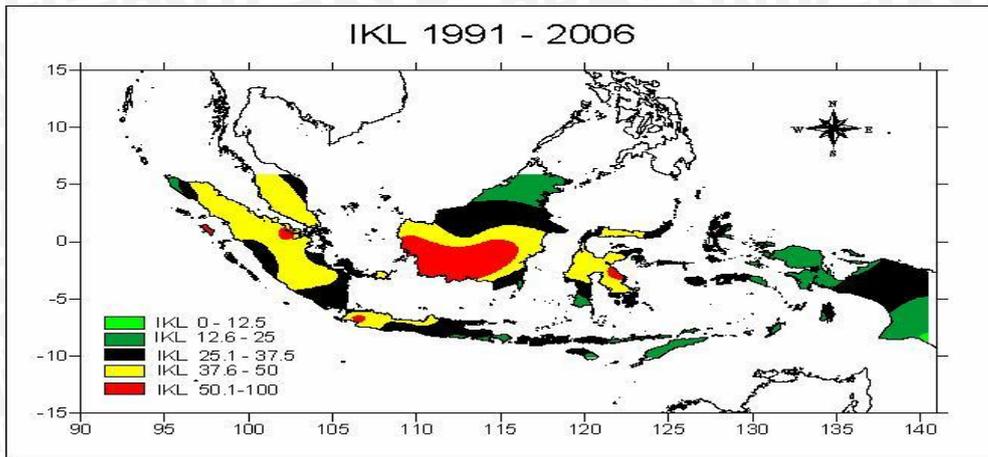
Sesudah *return stroke* yang pertama, biasanya masih terdapat pusat muatan yang lain di awan untuk memulai sambaran petir berikutnya. Sambaran tersebut dimulai dengan leader yang mengikuti jalan yang dilalui oleh *return stroke* sebelumnya. Ciri-cirinya tidak terdapat percabangan dan disebut dengan *dart leader*. Dari leader ini awan tersebut langsung menuju ke titik sambaran semula.

Pada saat leader mendekati tanah, maka medan statis pada permukaan tanah akan cukup tinggi untuk menghasilkan aliran ke atas yang pendek menyongsong pilot leader, titik tempat bertemunya dua aliran yang berbeda muatan ini disebut *striking point*. Kecepatan naik bisa mencapai kecepatan yang lebih tinggi dari kecepatan *pilot leader* ($30\text{m}/\mu\text{s}$)

Jika muatan pada awan telah dilepas ke bumi maka tegangan pada awan tersebut akan turun, akibatnya mungkin terjadi perbedaan tegangan yang tinggi antara awan dengan pusat muatan lain di dalam awan tersebut. Akibatnya akan terulang kembali pelepasan muatan melalui kanal yang terbentuk oleh pelepasan muatan yang pertama. Peristiwa ini disebut pelepasan muatan beruntun yang sering terjadi di alam.

2.2 Kerapatan Sambaran Petir dan Hari Guruh

Kerapatan sambaran petir didefinisikan sebagai jumlah sambaran petir pada suatu daerah dalam satu tahun. Kerapatan sambaran petir (N_g) suatu wilayah dapat diestimasi dengan menghitung jumlah sambaran petir pada wilayah tersebut melalui satelit ataupun alat penghitung sambaran petir. Sedangkan hari guruh adalah banyaknya hari di mana terdengar guruh setidaknya satu kali dalam waktu 24 jam. Data hari guruh tidak mencakup data mengenai jumlah sambaran petir dalam satu hari. Perbandingan data hari guruh di Indonesia ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Perbandingan Hari Guruh di Beberapa wilayah Indonesia

Sumber: <http://geofisikagowa.wordpress.com/publikasi/peta-isokeraunic-level>

Indonesia adalah kontinen maritim yang terletak di sekitar daerah khatulistiwa dengan hari guruh yang cukup tinggi di dunia, yaitu dengan aktivitas 25 sampai 200 hari guruh pertahun. Ini berarti tingkat sambaran petirnya sangat tinggi, baik frekuensi maupun intensitas arus sambarannya. Informasi kejadian petir di Indonesia dapat diperoleh dari Jaringan Deteksi Petir Nasional (JADPEN) maupun dari stasiun BMG yang menggunakan sistem deteksi petir *real time*.

Bagaimanapun juga, kerapatan sambaran petir dapat dihitung menggunakan data hari guruh sebagai berikut: (SNI 03-7015-2004:8)

$$N_g = aT_d^b \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)} \quad (2-1)$$

Dengan

T_d = jumlah hari guruh

Nilai a dan b berbeda-beda sesuai dengan studi yang banyak dilakukan oleh para ilmuwan. Tetapi menurut SNI 03-7015-2004 nilai a dan b adalah 0,04 dan 1,25. Sehingga dengan memasukkan nilai a dan b pada persamaan (7-1) didapatkan persamaan baru yaitu (SNI 03-7015-2004:8)

$$N_g = 0,04T_d^{1,25} \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)} \quad (2-2)$$

2.3 Parameter Petir

Setiap sambaran petir dapat diuraikan secara matematis kelistrikan. Hal tersebut diperlukan guna mengetahui sejauh mana akibat pada objek sambaran yang ditimbulkan masing-masing parameter tersebut dan untuk menentukan level proteksi yang harus didesain. Berikut ini merupakan parameter-parameter petir yang sangat penting dalam penentuan sistem proteksi petir

2.3.1 Arus puncak (I_m)

Arus puncak petir (I_m) merupakan nilai maksimum arus impuls petir yang dapat menyebabkan tegangan lebih pada tempat sambaran. Arus puncak petir menentukan tinggi tegangan jatuh pada tahanan pentanahan objek yang disambar sesuai dengan persamaan:

(Peter Hasse, 2008:48)

$$U_m = I_m \times R_E \quad (2-3)$$

Dengan :

U_m = tegangan(Volt)

I_m = arus puncak petir (Ampere)

R_E = tahanan tanah (Ω)

2.3.2 Muatan Arus Petir (Q)

Muatan arus petir (Q) adalah jumlah muatan arus petir yang mengalir atau integral arus petir terhadap waktu. Muatan arus petir menentukan jumlah energi (W) yang terwujud dalam busur listrik yang menembus isolasi. Muatan ini menyebabkan terjadinya pelelehan ujung *finial* penangkap petir, kulit aluminium pesawat terbang, atau logam yang digunakan sebagai titik sambaran petir. Muatan arus petir dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

(Dehn+Söhne, 2007:20)

$$Q = \int_0^t i dt \text{ (As atau Coulomb)} \quad (2-4)$$

Tabel 2.1 Nilai batas muatan arus petir menurut hasil pengukuran Berger

Tingkat proteksi	Nilai batas muatan Q (As)	Probabilitas dilampauinya nilai batas muatan arus (%)	
		Petir negatif	Petir positif
Normal	50	± 2	-
Tinggi	300	-	± 10
Sangat tinggi	600	-	± 1

Sumber : Vernon Cooray (2010:50)

Volume pelelehan logam yang disebabkan muatan arus petir dapat dinyatakan dalam persamaan berikut : (Dehn+Söhne, 2007:20)

$$Vol = \frac{W}{\gamma c_w \theta + c_s} \text{ (m}^3\text{)} \quad (2-5)$$

Dengan :

W = energi busur listrik (J)

Θ = tsistematur leleh ($^{\circ}\text{C}$)

c_s = panas leleh spesifik (J/kg)

c_w = kapasitas tanah spesifik (J/kg)

γ = kerapatan massa (kg/m^3)

2.3.3 Arus Kuadrat Impuls atau Energi Spesifik

Arus kuadrat impuls adalah suatu aksi integral yang bertanggung jawab terhadap efek pemanasan dan elektro-mekanis. Kuadrat impuls menentukan tingginya pemanasan dan tekanan elektrodinamis pada konduktor yang dialiri arus petir. Besarnya energi pemanasan dapat ditunjukkan pada persamaan: (Dehn+Söhne, 2007:20)

$$E = \int_0^t i^2 dt \quad (2-6)$$

$$E = \frac{W}{R} \quad (2-7)$$

Sehingga, (Dehn+Söhne, 2007:20)

$$\frac{W}{R} = \int_0^t i^2 dt \quad (2-8)$$

Dengan :

W = Energi pemanasan (J)

i^2 = Arus petir (kA)

R = tahanan pada konduktor (Ω)

Penentuan dimensi penangkal petir dapat menggunakan perhitungan Berger mengenai nilai kuadrat impuls yang ditunjukkan pada tabel 2.2

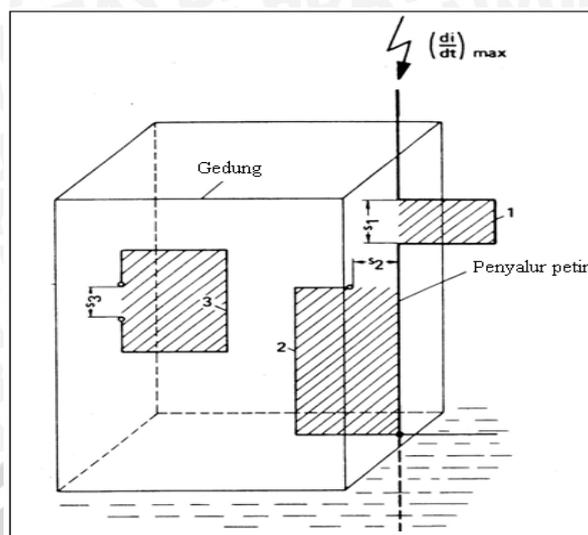
Tabel 2.2 Nilai kuadrat impuls menurut perhitungan Berger

Tingkat proteksi	Nilai batas kuadrat arus impuls (A^2s atau J/Ω)	Probabilitas dilampauinya nilai batas muatan arus (%)	
		Petir negatif	Petir positif
Normal	10^6	± 2	-
Tinggi	$10 \cdot 10^6$	-	± 10
Sangat tinggi	$100 \cdot 10^6$	-	± 1

Sumber : Vernon Cooray (2010:50)

2.3.4 Kecuraman arus petir (di/dt)

Kecuraman arus petir maksimum menyebabkan timbulnya induksi elektromagnetik pada loop yang terdapat di dalam suatu instalasi atau konstruksi yang tertutup atau yang terletak di dekat konduktor yang dialiri arus.



Gambar 2.3 Kecuraman Maksimum Arus Petir (di/dt)

Sumber : Peter Hasse (2008:50)

Pengaruh parameter ini dapat menyebabkan adanya tegangan induksi elektromagnetik pada benda logam di dekat instalasi proteksi petir. Parameter ini digunakan berkaitan dengan penentuan dimensi konduktor pengaman. Besarnya tegangan induksi yang timbul dapat dinyatakan dalam persamaan : (Peter Hasse, 2008:49)

$$U_m = M (di/dt) \quad (2-9)$$

Dengan:

U_m : Tegangan Induksi (V)

M : Induktansi pada loop (H)

di/dt : Kenaikan arus (A/s)

Nilai tertinggi parameter ini terjadi pada sambaran positif. Efek merusak yang ditimbulkan tegangan induksi, berkaitan dengan kecuraman muka kurva arus petir. Untuk kepentingan perancangan penting diketahui batas nilai kecuraman arus seperti dalam perhitungan Berger yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2.3 Nilai batas kecuraman arus petir menurut perhitungan Berger

Tingkat proteksi	Nilai batas kecuraman arus (A/s)	Probabilitas dilampauinya nilai batas muatan arus (%)	
		Petir negatif	Petir positif
Normal	$60 \cdot 10^9$	± 2	-
Tinggi	$80 \cdot 10^9$	$\pm 0,5$	± 10
Sangat tinggi	$100 \cdot 10^9$	$\pm 0,1$	± 1

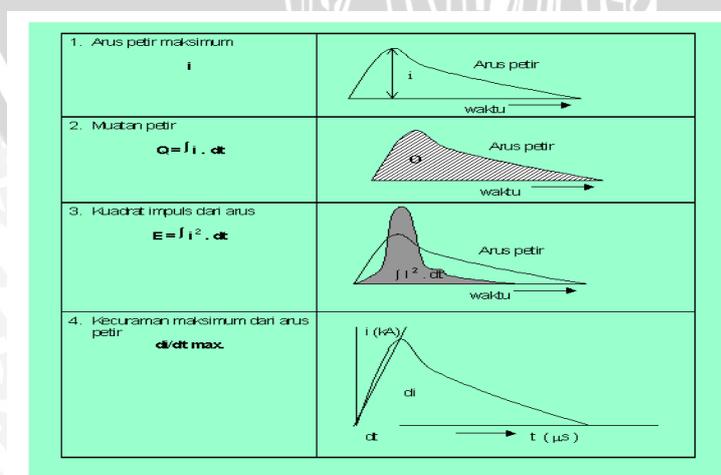
Sumber : Vernon Cooray (2010: 51)

Keempat parameter petir di atas dapat digambarkan dalam bentuk gelombang sesuai dengan gambar 2.4.

2.4 Sistem proteksi petir

Timbulnya kerusakan akibat sambaran petir, maka munculah berbagai usaha untuk mengatasi bahaya yang diakibatkan sambaran petir. Sistem proteksi yang harus diterapkan bertujuan untuk melindungi bangunan dari sambaran langsung maupun sambaran tidak langsung. Mengacu pada IEC TC 81/1989 tentang konsep Lightning Protection Zone (LPZ), sistem proteksi petir yang sempurna terdiri dari tiga (3) bagian:

- Proteksi Eksternal, yaitu instalasi dan alat-alat di luar sebuah struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan, atau berfungsi sebagai ujung tombak penangkap arus petir di tempat tertinggi. Proteksi eksternal yang baik terdiri dari terminasi udara (*finial*), penghantar penyalur (*down conductor*) dan ekuipotensial.
- Proteksi Pentanahan, merupakan bagian terpenting dalam instalasi sistem proteksi petir. Kesulitan dari sistem pentanahan biasanya disebabkan berbagai macam jenis tanah. Hal ini dapat diatasi dengan perencanaan dan teknik penerapan yang tepat, serta menghubungkan semua ekuipotensial dengan sistem penatanahan sesuai dengan IEC TC 81.
- Proteksi Internal, merupakan proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Terutama efek medan magnet dan medan listrik pada instalasi metal atau sistem listrik. Sesuai dengan standar IEC 1024-1. Proteksi internal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap sambaran tidak langsung, dan ekuipotensial.



Gambar 2.4 Parameter-parameter Petir

sumber : <http://nautika-murdiansyah.blogspot.com/2011/04/petir.html>

2.5 Sistem Proteksi Petir pada Bangunan

Salah satu sistem pengamanan yang dibutuhkan oleh suatu bangunan atau gedung adalah sistem proteksi petir. Suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Maka berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir bangunan yang membutuhkan proteksi adalah:

- Bangunan tinggi seperti gedung bertingkat, menara, dan cerobong pabrik.
- Bangunan tempat penyimpanan bahan yang mudah terbakar atau meledak seperti pabrik amunisi atau gudang penyimpanan bahan peledak.
- Bangunan sarana umum, seperti sekolah, gedung bertingkat pusat perbelanjaan, gedung pemerintahan.

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan suatu instalasi proteksi petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang terjadi jika bangunan tersebut terkena sambaran petir. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan dirumuskan sebagai: (SNI 03-7015-2004:8)

$$R = A + B + C + D + E \quad (2-10)$$

Besarnya indeks tersebut ditampilkan pada tabel-tabel berikut.

Tabel 2.4 Indeks A : Bahaya berdasarkan Jenis Bangunan

Penggunaan dan Isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	-10
Bangunan dan isinya jarang digunakan misalnya dangau di tengah sawah atau ladang, menara atau tiang dari metal	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal misalnya rumah tinggal, industri kecil, dan stasiun kereta api	1
Bangunan atau isinya cukup penting misalnya menara air, toko barang berharga dan kantor pemerintahan	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang seperti bioskop, sara ibadah, sekolah, dan monumen bersejarah yang penting	3
Instalasi gas, minyak atau bensin dan rumah sakit	5
Bangunan yang mudah meledak dan dapat menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya, misalnya instalasi nuklir	10

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Tabel 2.5 Indeks B: Bahaya berdasarkan konstruksi Bangunan

Konstruksi Bangunan	Indeks B
Seluruh bangunan terbuat dari logam dan mudah menyalurkan listrik	0
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangka besi dengan atap logam	1
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang, kerangka besi dan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Tabel 2.6 Indeks C: Bahaya Berdasarkan tinggi Bangunan

Tinggi Bangunan (m)	Indeks C
6	0
12	2
17	3
25	4
35	5
50	6
70	7
100	8
140	9
200	10

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Tabel 2.7 Indeks D: Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan

Situasi Bangunan	Indeks D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai $\frac{3}{4}$ tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000	1
Di puncak gunung atau pegunungan >1000 m	2

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Tabel 2.8 Indeks E: Bahaya Berdasarkan Hari Guruh

Hari Guruh per Tahun	Indeks E
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
128	6
256	7

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Tabel 2.9 Perkiraan Bahaya Sambaran Petir berdasarkan PUIPP

R	Perkiraan bahaya	Pengamanan
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak Perlu
Sama dengan	11 Kecil	Tidak Perlu
	12 Sedang	Dianjurkan
	13 Agak Besar	Dianjurkan
	14 Besar	Sangat Dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat Besar	Sangat Perlu

Sumber : Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia (1983:17)

Dari persamaan (2-10) terlihat bahwa semakin besar nilai indeks maka semakin besar pula resiko (R) suatu bangunan sehingga semakin besar kebutuhan suatu bangunan akan adanya sistem proteksi petir.

Untuk keperluan perhitungan yang lebih terperinci maka dapat digunakan standar IEC 1024-1-1. Berdasarkan standar ini, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) yang diperkirakan untuk struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah suatu struktur berada telah dinyatakan pada persamaan (2-11). (SNI 03-7015-2004:8)

$$N_d = N_g \times A_e \times C_d \times 10^6 \text{ per tahun} \quad (2-11)$$

Dengan:

A_e : Luas daerah proteksi efektif pada gedung (m^2)

N_g : Kerapatan sambaran petir pada gedung (sambaran/km²tahun)

C_d : Faktor *site*

Dimana A_e adalah luas daerah proteksi efektif pada gedung (m²). Nilai A_e dapat dihitung dari persamaan berikut: (SNI 03-7015-2004:12)

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (2-12)$$

Dimana:

a = panjang atap gedung (m)

b = Lebar atap gedung (m)

h = Tinggi gedung (m)

sedangkan C_d ditentukan menggunakan tabel 2.10.

Tabel 2.10 Faktor Site (C_d)

Wilayah di Sekitar Gedung	C_d
Objek dikelilingi oleh objek yang lebih tinggi atau pepohonan	0,25
Objek dikelilingi oleh objek lain atau pepohonan yang sama tinggi atau lebih rendah	0,5
Objek yang berdiri bebas : tidak terdapat objek lain didekatnya ($\approx 3h$)	1
Objek yang berdiri bebas di atas pegunungan atau perbukitan	2

Sumber : Dehn+Söhne (2007:31)

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut:

- Jika $N_d \leq N_c$ maka tidak dibutuhkan sistem proteksi petir.
- Jika $N_d > N_c$ maka diperlukan sistem proteksi dengan efisiensi yang ditunjukkan pada persamaan (2-13). (SNI 03-7015-2004:12)

$$E \geq 1 - N_c/N_d \quad (2-13)$$

Sesuai dengan standar IEC, tingkat proteksi dibagi ke dalam empat tingkat yaitu tingkat I, II, III, dan IV yang ditunjukkan pada tabel 7.10. Berdasarkan distribusi statistik dari arus puncak pertama *return stroke*, dapat diestimasikan bahwa tingkat proteksi I akan memproteksi 99% dari keseluruhan *ground flashes* dan juga untuk tingkat proteksi IV akan memproteksi 84% dari keseluruhan *ground flashes*.

Tabel 2.11 Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tingkat Proteksi Petir	Nilai Minimum		
	Minimum Arus Puncak Petir	Probabilitas arus puncak petir melampaui nilai minimalnya	Jari-jari dari Bola Gelinding
I	3 kA	99 %	20 m
II	5 kA	97 %	30 m
III	10 kA	91 %	45 m
IV	16 kA	84 %	60 m

Sumber : Dehn+Söhne (2007:23)

2.6 Daerah Lindung Penangkap Petir

Daerah lindung penangkap petir adalah daerah yang dilindungi *finial* penangkap petir dari sambaran langsung. Daerah lindung ditentukan oleh jarak sambar yang terkait dengan nilai puncak arus petir. Jarak sambar adalah jarak sambaran petir terhadap suatu Objek. Hubungan antara jarak sambar dan arus puncak petir dapat dinyatakan dalam persamaan (2-14)

$$h_B = 2I_m + 30\left(1 - e^{-\frac{I_m}{6,8}}\right) \quad (2-14)$$

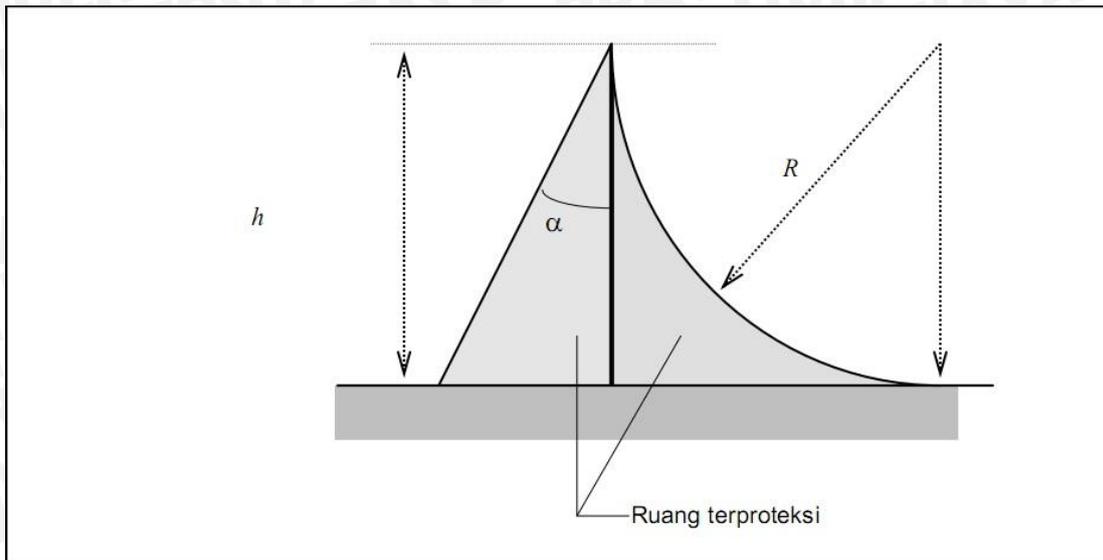
Di mana :

h_B = jarak sambar (meter)

I_m = arus puncak petir (kA)

Hubungan ini memperlihatkan bahwa petir dengan arus puncak yang kecil memiliki jarak sambar yang pendek. Semakin tinggi suatu tingkat proteksi suatu sistem proteksi eksternal maka semakin kecil arus puncak petir yang harus diperhatikan.

Teori yang mendasari penentuan daerah lindung disebut teori elektro-geometri. Teori elektro-geometri adalah teori yang mengaitkan hubungan sifat listrik sambaran petir dengan geometri sistem penangkap petir. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.5, daerah lindung menurut teori elektro-geometri mirip dengan daerah lindung konvensional, yakni berbentuk kerucut, tetapi bidang miring dari kerucut tersebut melengkung dengan jari-jari sama dengan jarak sambar petir.



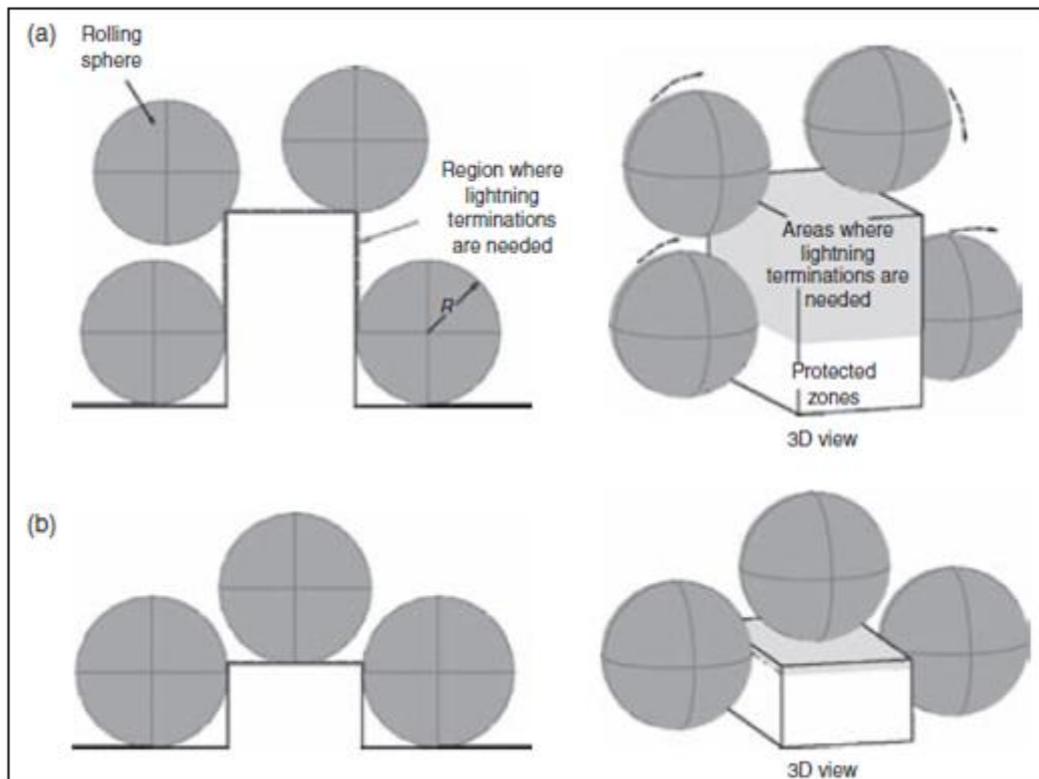
Gambar 2.5 Daerah lindung menurut metode elektro-geometri

Sumber :SNI 03-7055-204 (2004:21)

2.7 Penentuan Daerah Lindung menggunakan metode Bola Gelinding

Konsep dari metode bola gelinding berawal dari model elektrogeometri yang didasarkan pada asumsi bahwa *stepped leader* telah mendekati nilai kritis jarak sambar sebelum mengenai bangunan. Konsep ini mengasumsikan bahwa terdapat daerah berbentuk bola, dengan besarnya jari-jari bola sama dengan jarak sambar dan terletak disekitar ujung dari *stepped leader*. Berdasarkan konsep ini sistem terminasi udara harus diletakkan sedemikian rupa sehingga ketika sebuah bola, dengan nilai radius yang telah ditentukan, digelindingkan pada gedung, tepi bola hanya menyentuh konduktor dari sistem proteksi petir yang terpasang. Contoh penerapan dari metode bola gelinding dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 .

Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa suatu gedung yang menggunakan sistem proteksi melalui pendekatan metode bola gelinding, ketika bola dengan radius R digelindingkan pada permukaan bangunan, maka bola hanya boleh menyentuh siste proteksi eksternal gedung. Jika tinggi gedung melebihi radius bola, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6 (a) maka sistem proteksi harus mampu melindungi sisi vertikal dinding gedung. Tetapi jika tinggi gedung tidak melebihi radius bola, seperti yang ditunjukkan gambar 2.6 (b), maka perlindungan pada sisi vertikal gedung tidak diperlukan.



Gambar 2.6 Proteksi Gedung Menggunakan Metode Bola Gelinding

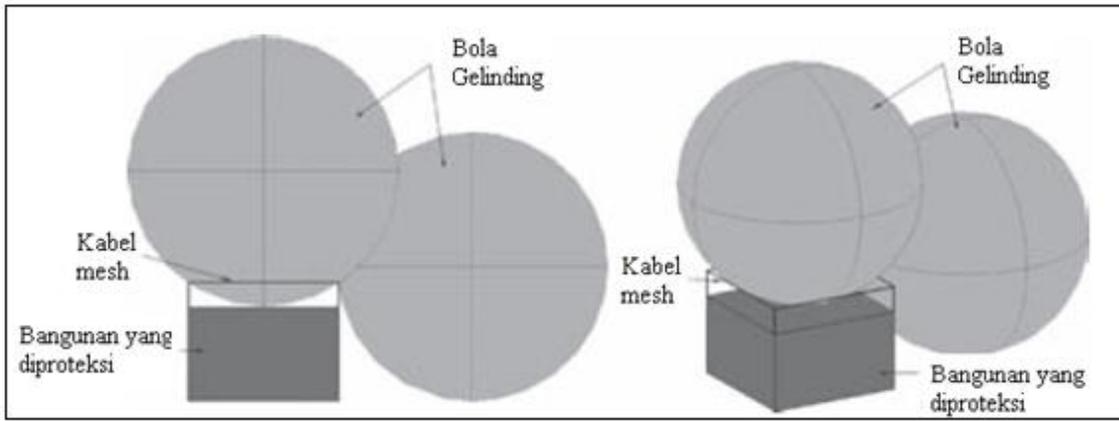
sumber : Vernon Cooray (2010:171)

Jari-jari bola, yang diasumsikan sebagai jarak sambar, diasosiasikan sebagai arus puncak *return stroke* (I_{crit}). Untuk *stepped leader* dengan arus puncak *return stroke* yang lebih besar dari I_{crit} , maka dapat diasosiasikan menggunakan bola dengan radius yang lebih besar, sehingga *stepped leader* ini tidak dapat memasuki sistem proteksi petir. Sebaliknya, *stepped leader* yang memiliki nilai arus puncak *return stroke* yang lebih kecil dari I_{crit} , akan diasosiasikan menggunakan bola dengan radius yang lebih kecil, sehingga *stepped leader* seperti ini dapat langsung menyambar sistem proteksi petir. Oleh karena itu, untuk mendapatkan sistem proteksi petir yang lebih sensitif terhadap sambaran petir, sebaiknya digunakan bola dengan radius yang lebih kecil dalam desain sistem proteksi petir.

Seuai dengan standar proteksi petir menurut IEC, sistem proteksi petir tingkat I memiliki nilai arus puncak kritis *return stroke* sebesar 2,9 kA. Artinya, untuk nilai arus yang lebih besar dari 2,9 kA tidak akan dapat menyambar sistem proteksi yang terpasang. Begitu juga untuk tingkat II, III, dan IV yang memiliki nilai arus puncak kritis *return stroke* sebesar 5,4 kA; 10,1 kA; dan 15.7 kA.

Metode bola gelinding dapat dikombinasikan dengan metode mata jala (mesh) untuk menghasilkan proteksi yang lebih baik untuk melindungi gedung dari sambaran petir. Metode bola gelinding memprediksi bahwa petir dapat menyambar gedung, jika

mesh diletakkan langsung menTabell pada struktur bangunan. Sehingga untuk menghindari kejadian tersebut, *mesh wire* diletakkan dengan jarak tertentu di atas struktur yang diproteksi, di mana besarnya jarak ini akan semakin kecil dengan semakin meningkatnya tingkat proteksi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Peletakan Mesh pada Gedung yang Diproteksi Menggunakan Metode Bola Bergulir
sumber : Vernon Cooray (2010:171)

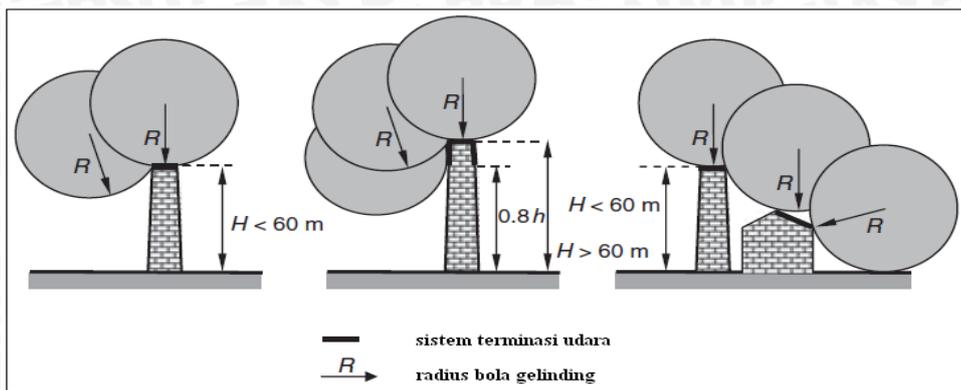
2.8 Komponen Sistem Proteksi Eksternal

2.8.1 Terminasi Udara (*air termination system*)

Sistem terminasi udara adalah bagian pertama dari Sistem Proteksi Petir eksternal yang bertujuan untuk menangkap petir. Sistem terminasi udara harus dipasang pada titik tertinggi dari suatu bangunan atau peralatan yang ingin dilindungi dari sambaran petir. *Finial* adalah penangkap petir berupa batang pendek yang dipasang pada atap bangunan. Dengan berkembangnya penelitian untuk mengatasi bahaya petir, maka peletakan finial ini dapat menggunakan beberapa pendekatan melalui metode-metode lain seperti metode bola gelinding.

(a) Peletakan Sistem Terminasi Udara pada Bangunan

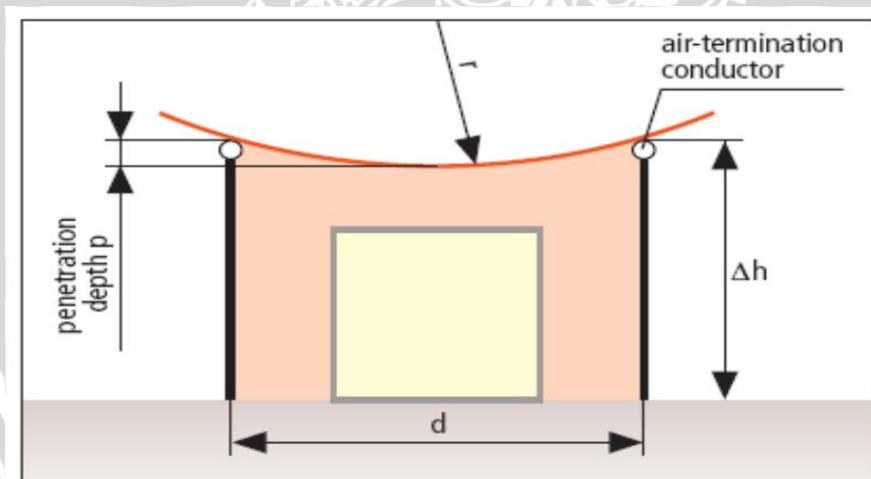
Sistem terminasi udara dapat disusun dari kombinasi beberapa batang vertikal, *catenary wires*, dan konduktor horizontal atau *mesh*. Batang-batang konduktor ini saling dihubungkan di atap bangunan untuk memastikan adanya pembagian arus. Komponen terminasi udara yang dipasang pada sebuah bangunan dapat diletakkan pada ujung ataupun di beberapa tempat yang langsung terekspose, seperti pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 Desain sistem terminasi udara menggunakan metode bola gelinding

Sumber : Vernon Cooray. 2010. Lightning Protection

Batang vertikal 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 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, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9. dan 2.10



Gambar 2.9 kedalaman penetrasi p dari bola bergulir

Sumber: Habib Prabandoko (2008:22)

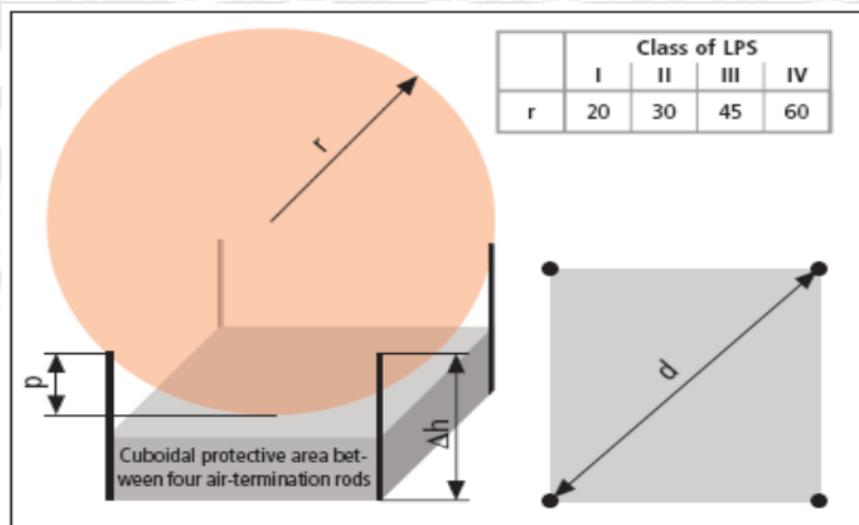
kedalaman penetrasi dari bola bergulir amat penting dalam merancang sistem terminasi udara. Rumus dibawah dapat digunakan untuk menentukan kedalaman penetrasi bola bergulir p,

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \tag{2-15}$$

Dimana:

r : Radius bola bergulir

d : jarak antara 2 tiang udara atau 2 konduktor sejajar



Gambar 2.10 Sistem proteksi udara untuk SPP atap dengan daerah perindungannya.

Sumber: Habib Prabandoko (2008:23)

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 2.12 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

Sumber : Habib Prabandoko (2008:24)

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 penghentian udara dari tiang yang lain. Menggunakan jarak terjauh ini, kedalaman penetrasi p (lengkungan) bola bergulir dapat dilihat langsung dari tabel, sesuai dengan jajarannya. Kemudian tiang penghenti udara tersebut harus diatur sehingga sesuai dengan tinggi struktur yang akan dilindungi dan juga kedalaman penetrasi.

(b) Konstruksi Sistem Terminasi Udara

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 Sistem Proteksi Petir sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi seperti tembaga alumunium,inox dan baja galvanis. Bahan batang dan kawat terminasi udara seharusnya bersesuaian secara elektrokimia dengan bahan dengan bahan elemen penyambung dan lemen pemegang, dan seharusnya mempunyai sifat tahan terhadap korosi atmosfer atau kelembaba. Sambungan antara bahan yang berbeda harus sebaiknya dihindarkan, atau harus dilindungi. Berikut adalah tabel pemilihan bahan berdasarkan penggunaannya menurut SNI 03-7015-2004.

Tabel 2.13 Bahan Sistem Proteksi Petir dan Kondisi Penggunaan

Bahan	Penggunaan		
	Dalam udara terbuka	Dalam tanah	Dalam beton
Tembaga	Padat berserabut sebagai lapisan	Padat berserabut sebagai lapisan	-
Baja galvanis panas	Padat berserabut	Padat	Padat
Stainless steel	Padat stranded	Padat	-
Alumunium	Padat stranded	-	-
Lead	Padat sebagai pelapisan	Padat sebagai pelapisan	-

sumber : SNI 03-7015-2004 (2004:50)

2.8.2 Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Down conductor adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang menghantarkan arus petir dari sistem terminasi udara menuju sistem pentanahan. Penghantar penyalur ini harus dipasang vertikal sehingga tercipta jarak terpendek antara ujung bangunan dengan bumi. Berikut ini merupakan tabel dimensi Minimum penghantar penyalur menurut

material penyusunnya berdasarkan dan tebal minimum lTabelngan logam atau pipa pada sistem terminasi udara SNI 03-7015-2004.

Tabel 2.14 Dimensi minimum down conductor

Tingkat Proteksi	Bahan	Terminasi udara (mm ²)	Konduktor penyalur (mm ²)	Terminasi-bumi (mm ²)
I sampai IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

sumber : SNI 03-7015-2004 (2004:51)

Tabel 2.15 Tabel minimum lempengan logam pada sistem terminasi udara

Tingkat Proteksi	Bahan	Ketebalan t (mm)
I sampai IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

sumber : SNI 03-7015-2004 (2004:51)

a) Penempatan penghantar penyalur pada bangunan

Pemilihan jumlah dan penempatan penghantar penyalur harus mempertimbangkan fakta bahwa arus petir dapat terbagi dalam beberapa penghantar penyalur sehingga resiko sambaran samping (*side flashes*) dan gangguan elektromagnetik dapat berkurang. Penghantar penyalur seharusnya dipasang seragam dengan susunan simetris sepanjang keliling bangunan. Pembagian arus dapat ditingkatkan tidak hanya dengan menambah jumlah penghantar penyalur tetapi juga dengan menambahkan cincin interkoneksi equipotensial. Penghantar penyalur harus diletakkan sejauh mungkin dari rangkaian internal dan bagian-bagian metal dengan tujuan untuk menghindari dibutuhkanya *equipotential bonding* dengan sistem proteksi petir.

Jarak antar penghantar penyalur tidak boleh melebihi 10 m pada tingkat proteksi I, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.16. Hubungan lateral setiap penghantar tidak hanya dipasang pada bagian atas maupun bawah bangunan saja, tetapi untuk setiap tinggi 10 - 20 meter harus dipasang penghubung lateral antar penghantar sesuai dengan tabel 2.14 berdasarkan SNI 03-7015-2004.

Tabel 2.16 Nilai tipikal jarak antar penghantar penyalur dan antar cincin penghantar sesuai dengan tingkat proteksi

Tingkat proteksi	Jarak Tipikal (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

sumber : SNI 03-7015-2004 (2004:31)

b) Konstruksi sistem penghantar penyalur

Jika dimungkinkan, penghantar penyalur seharusnya dipasang pada setiap sudut terbuka pada gedung yang diproteksi. Penghantar penyalur harus dipasang lurus dan vertikal, sehingga terbentuk jalur terpendek dari sistem terminasi udara sampai sistem pentanahan. Semakin pendek penghantar penyalur, maka semakin kecil pula nilai induktansinya.

2.8.3 Sistem Pentanahan (*Grounding*)

Sistem pentanahan adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Selain itu terdapat beberapa fungsi lain yaitu untuk mendisipasi energi petir ke dalam tanah, jalur resistansi rendah ke tanah, memberikan jalur pada arus gangguan, mengurangi noise dalam rangkaian sinyal dan rangkaian kontrol, dan sebagai potensial acuan. Ujung penghantar penyalur dihubungkan dengan tahanan pentanahan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pentanahan yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin. Sesuai dengan persamaan

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2-16)$$

Dengan :

R : resistansi pentanahan (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ωm)

L : panjang lintasan arus di tanah (m)

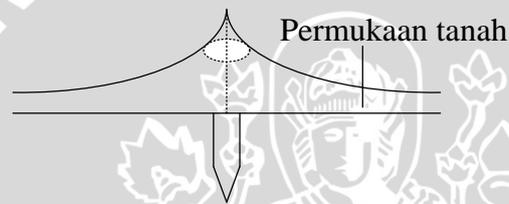
A : luas penampang lintasan arus di tanah (m^2)

Pada awalnya sistem pentanahan dilakukan dengan melakukan pemasangan batang-batang elektroda pentanahan yang ditanam secara tegak lurus dalam tanah. Jika tahanan pentanahan masih terlalu tinggi, maka perlu adanya penambahan elektroda pentanahan

yang berfungsi untuk menurunkan tahanannya. Cara yang dilakukan dengan menanam batang-batang elektroda tegak lurus kedalam tanah ini lazim disebut pentanahan batang atau pentanahan rod.

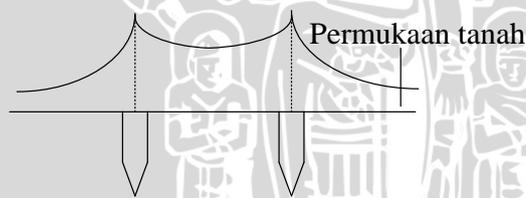
2.8.3.1 Pentanahan Batang Vertikal

Tujuan dari pentanahan batang vertikal adalah untuk memperoleh tahanan tanah yang rendah sehingga dapat memungkinkan arus gangguan yang terjadi dengan cepat dapat terdistribusi ke tanah. Jika dengan 1 batang elektroda pentanahan vertikal masih diperoleh tahanan tanah yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara menggunakan beberapa batang elektroda pentanahan vertikal sehingga diperoleh tahanan tanah yang rendah dan diharapkan distribusi tegangan yang terjadi lebih merata. Namun untuk areal pentanahan yang luas dan mempunyai tahanan jenis tanah yang besar maka penanaman elektroda dengan beberapa batang vertikal perlu dikaji karena dari segi ekonomis kurang efisien.



Gambar 2.11 Distribusi Tegangan Sekitar Satu Batang Elektroda

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



Gambar 2.12 Distribusi Tegangan Sekitar Dua Batang Elektroda

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

Pada Gambar 2.11 dan 2.12 di atas diperlihatkan distribusi tegangan yang terjadi untuk satu batang elektroda dan dua batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah, di mana arus kesalahan mengalir dari elektroda tersebut ke tanah sekitarnya.

Dengan demikian untuk jumlah elektroda yang lebih banyak yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah maka tahanan pentanahan semakin kecil dan distribusi tegangan akan lebih merata.

2.8.3.2 Tahanan Jenis Tanah

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

- Jenis tanah : tanah liat, barpasir, barbatu dan lain-lain.
- Lapisan tanah : berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform.
- Kelembaban tanah
- Tsistematur

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 Ohm per cm³. kadang-kadang harga ini dinyatakan dalam Ohm-cm. Pernyataan Ohm-cm merepresentasikan tahanan antara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah yang berisi 1 cm³.

Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat bergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu misalnya selama satu tahun. Biasanya tahanan tanah juga tergantung dari tingginya permukaan tanah dari permukaan air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pentanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu untuk ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar.

Beberapa tahanan jenis dari berbagai unsur tanah ditunjukkan pada Tabel 2.17 di bawah ini:

Tabel 2.17 Harga Tahanan Jenis Beberapa Unsur Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ω .cm)
Tanah liat, tanah kebun	500-5.000
Tanah Liat	800-5.000
Campuran tanah liat, pasir dan kerikil	4.000-25.000
Pasir dan kerikil	6.000-10.000
Batu tulis, pasir berbatu, dll	1.000-50.000
Batu Karang	20.000-1.000.000

Sumber: Tagg, G.F (1964: 4)

Tahanan pentanahan atau resistansi pentanahan dari satu batang elektroda dapat dihitung melalui persamaan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2-17)$$

Dengan:

R : tahanan pentanahan satu batang elektroda (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ωm)

L : panjang elektroda pentanahan (m)

a : jari-jari elektroda pentanahan (m)

c. Jarak Minimum Elektroda Bumi

Berdasarkan SNI-7015-2004 jarak minimum D dalam tanah antara elektroda bumi dan konduktor lainnya dalam tanah harus dihitung sebagai berikut :

$$D = b \cdot \rho^{0,4} kc^{0,5} \quad (2-18)$$

Dimana:

b = parameter yang berhubungan dengan protection level pada tabel 2.18

Kc = diambil pada tabel 2.19

P = resistivitas tanah

Tabel 2.18 Nilai Parameter b untuk tingkat parameter yang berbeda

Tingkat proteksi	b
I	0,4
II	0,3
III dan IV	0,25

Sumber : sni-7015-2004 (2004:67)

Tabel 2.19 Nilai ekivalen resitansi bumi

P (Ωm)	Z_1 (Ω)	Resistan bumi ekivalen sehubungan dengan tingkat proteksi		
		I	II	III-IV
100	8	4	4	6
200	13	6	6	4
500	16	10	10	10
1000	22	10	15	20
2000	28	10	15	40

Sumber-SNI-7015-2004 (2004:47)

d. Tegangan Langkah

Tegangan langkah yang terlalu besar dapat membahayakan manusia, karena tegangan tersebut dapat menimbulkan arus mengalir ke tubuh manusia yang cukup besar. Dengan menerapkan sistem pentanahan maka besar tegangan langkah yang terjadi akan lebih kecil jika dibandingkan dengan besar tegangan langkah tanpa sistem pentanahan. Besar tegangan langkah yang terjadi dengan sistem pentanahan dirumuskan sebagai berikut:

$$E_t = K_L K_i \rho \frac{I}{L} \quad (2-19)$$

$$K_i = 0,65 + 0,172 n \quad (2-20)$$

$$K_L = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right] \quad (2-21)$$

Dengan,

ρ = Nilai resistivitas tanah (Ωm)

I = Arus maksimum (A)

L = Total elektroda pembedaan (m)

n = Konstanta koreksi

h = kedalaman penanaman konduktor (m)

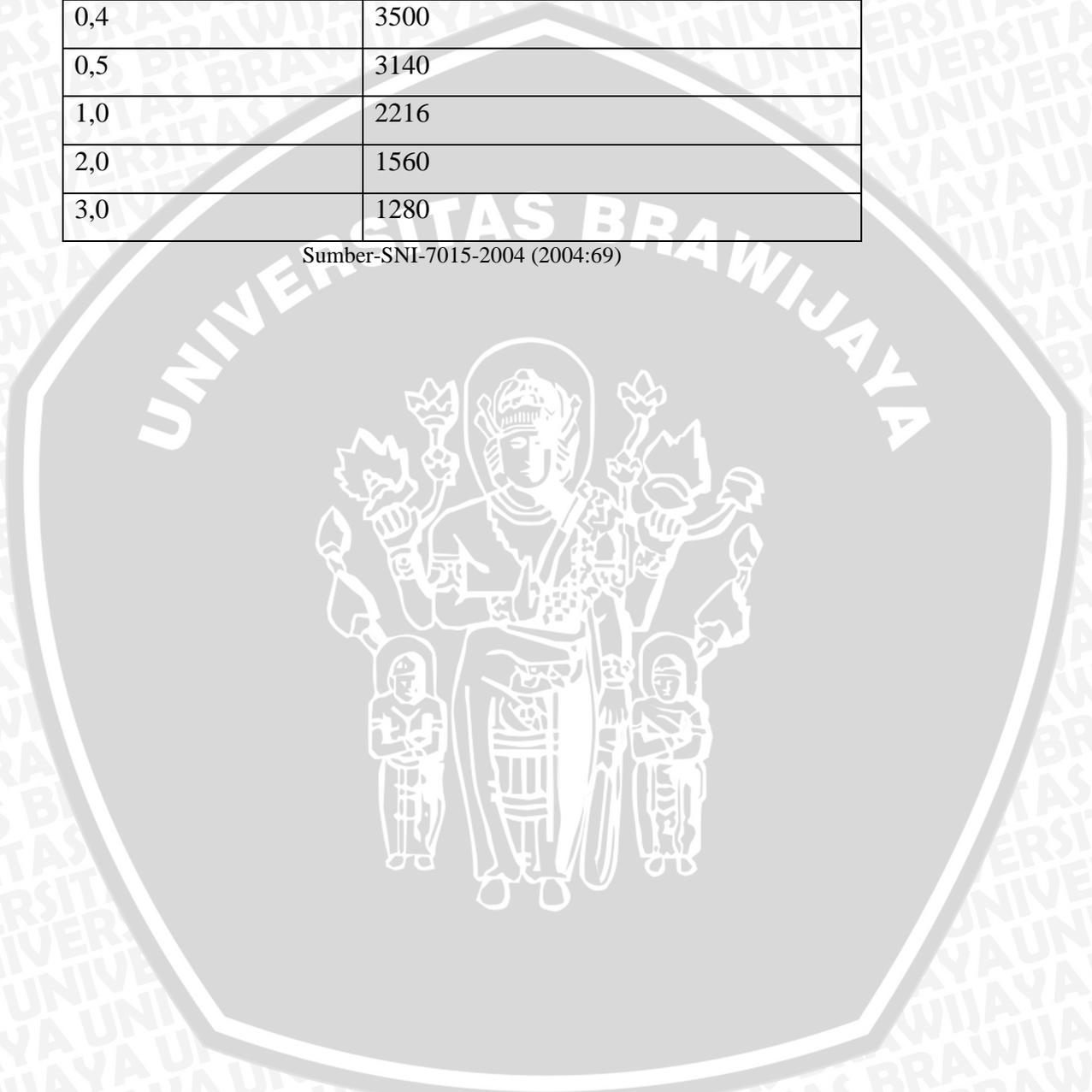
D = jarak antar konduktor paralel (m)

Dan tabel 2.20 merupakan besar tegangan langkah yang diizinkan

Tabel 2.20 besar tegangan langkah yang diizinkan

Lama gangguan (detik)	Tegangan langkah yang diizinkan (Volt)
0,1	7000
0,2	4950
0,3	4040
0,4	3500
0,5	3140
1,0	2216
2,0	1560
3,0	1280

Sumber-SNI-7015-2004 (2004:69)



BAB III

METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan pada skripsi ini adalah

3.1 Studi Literatur

Studi literature yang dilakukan pada skripsi ini mTabellajari tentang:

1. Sistem proteksi petir eksternal
2. Penentuan tingkat proteksi
3. Metode Bola gelinding

3.2 Pengambilan Data

Data-data yang digunakan dalam skripsi ini terdiri dari data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer adalah data yang didapatkan dari hasil pengamatan atau survey dilapangan. Data primer yang didapatkan pada skripsi ini adalah data nilai resistansi tanah pada gedung kawasan terpadu blimbing kota malang

Pengambilan data resistansi tanah yang dilakukan menggunakan digital earth tester model 4105A dimana petunjuk penggunaan dilampirkan pada lampiran 2. Untuk Pengukuran nilai resitansi pentanahan ini dilakukan menggunakan 1 batang elektroda yang dipasang secara ertikal dengan variasi kedalaman dari 10 cm hingga 100 cm. Selain itu juga dilakukan pengukuran menggunakan 2 buah batang elektroda yang dipasang secara paralel dan vertikal dengan variasi kedalaman dari 10 cm hingga 100 cm. Jika dari pengambilan dan perhitungan data resistansi pentanahan masih lebih dari 1Ω maka akan digunakan penarikan grafik dari data-data yang sudah ada sehingga didapatkan nilai resistansi tanah lebih kecil atau sama dengan 1Ω

3.2.2 Data Sekunder

Untuk merancang sebuah sistem proteksi eksternal dibutuhkan parameter-parameter untuk menentukan tingkat proteksi, data-data tersebut diperoleh dari buku referensi, jurnal maupun internet.Data sekunder yang dibutuhkan dalam skripsi ini antara lain:

3.2.2.1 Data Fisik Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang.

Data ini nantinya akan dijadikan acuan untuk menentukan tinggi gedung, panjang gedung, lebar gedung, sifat bangunan, karekteristik material dan gambar fisik gedung tampak depan dan samping yang berguna untuk analisis selanjutnya yang didapat dari Unit

Usaha dan Kerjasama Badan Peneliitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Lokasi rencana pembagunan dan pengelolaan kawasan pasar terpadu terletak di daerah Blimbing Kota Malang Provinsi Jawa timur,

3.2.2.2 Data Hari Guruh Kota Malang

Data hari guruh ini nantinya akan digunakan untuk menentukan nilai kerapatan sambaran petir pada gedung kawasan terpadu blimbing yang nantinya akan dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan tingkat proteksi dari gedung tersebut. Data hari guruh ini dapat diperoleh dari Stasiun Geofisika karangkates, balai besar wilayah III Denpasar, Jl.Raya Bendungan Lahor No. 40, Karangates, Kec. Sumber Pucung, Malang, Jawa Timur, Telp. 0341-385667 / 0341-386261.

3.3 Perhitungan dan Analisis Data

Data resistansi tanah yang didapatkan nantinya akan digunakan untuk perancangan sistem pentanahan dimana resistansi yang didapatkan tidak boleh lebih dari 1Ω semakin kecil resistansi yang didapatkan maka akan semakin besar arus petir yang dapat dialirkan ke bumi sehingga memberikan proteksi yang lebih baik pada bangunan maupun peralatan-peralatan elektronik yang ada didalamnya.

Dari data fisik gedung kawasan terpadu kota malang yang meliputi tinggi, panjang, lebar sifat dan karakteristik gedung digunakan sebagai parameter akan kebutuhan sistem proteksi pada bangunan tersebut. Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu sesuai dengan PUIPP sedangkan gambar fisik gedung digunakan untuk menentukan daerah lindung sebelum dan sesudah terpasang finial, distribusi arus petir, dan pentanahannya.

Untuk data hari guruh yang didapatkan digunakan untuk menghitung kerapatan sambaran petir (N_g) sesuai dengan persamaan (2-1). Dari data-data dimensi gedung yang telah diperoleh diatas maka dapat digunakan untuk menghitung luas daerah proteksi efektif (A_e) sesuai dengan persamaan (2-12) dari nilai N_g dan nilai A_e tersebut maka dapat dilakukan perhitungan frekuensi sambaran petir ke gedung (N_d) dengan persamaan (2-11), Selanjutnya menentukan kejadian kritis (N_c) menurut kelas gedung sesuai dengan PUIPP.

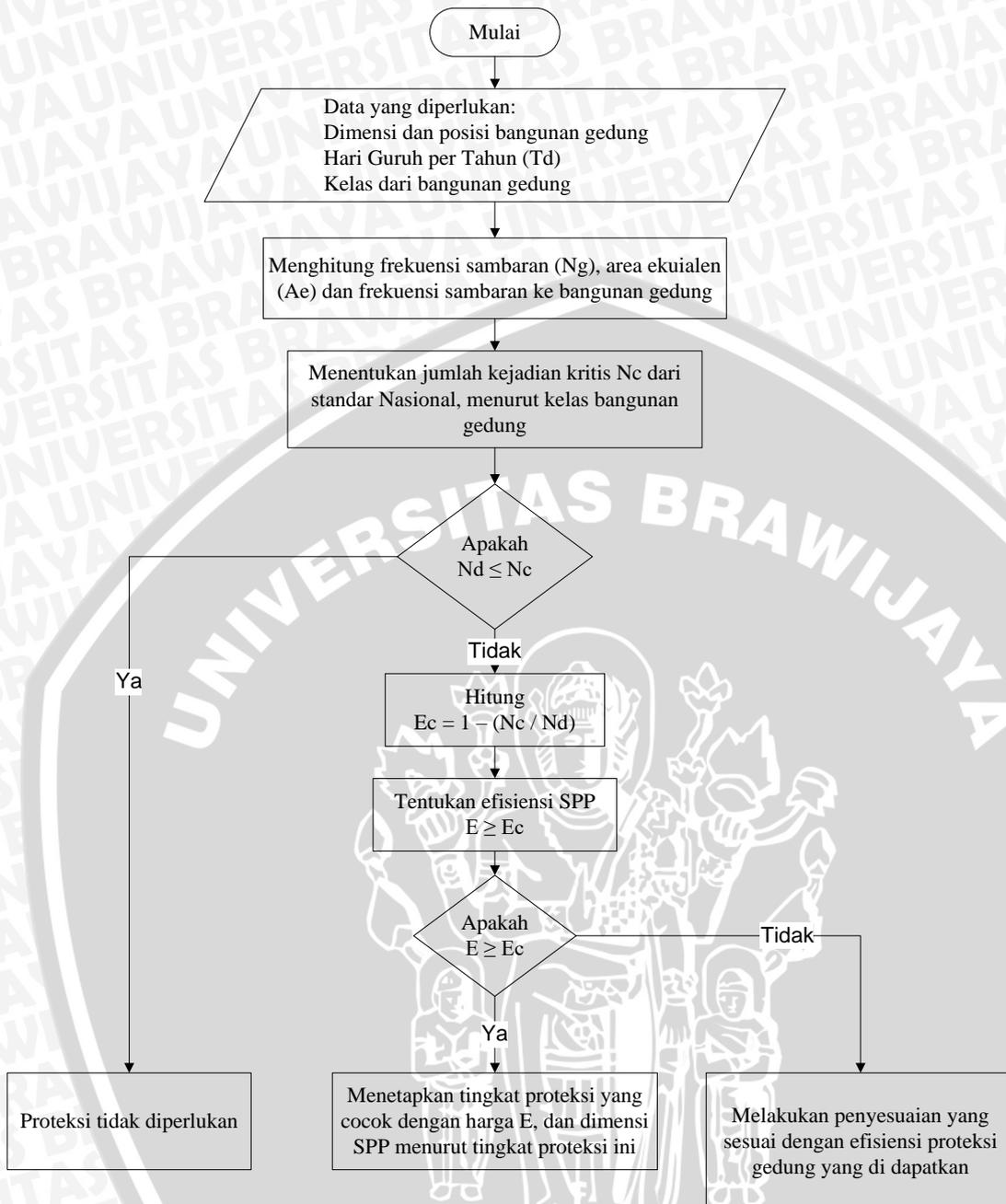
Dari nilai N_d dan N_c yang didapat maka dapat disimpulkan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan tersebut, jika N_d lebih kecil atau sama dengan N_c maka gedung tersebut tidak membutuhkan sistem proteksi dan sebaliknya jika N_d lebih besar N_c maka diperlukan sistem proteksi dengan efisiensi yang ditunjukkan dengan persamaan (2-13) dari nilai efisiensi tersebut maka dapat ditentukan tingkat

proteksi yang dibutuhkan pada gedung tersebut sesuai dengan standar IEC62305-4 yang ditunjukkan pada 2.11

Setelah didapatkan tingkat proteksi yang sesuai maka dapat dilakukan analisis perancangan sistem proteksi petir menggunakan metode bola gelinding dimana besar jari-jari bola dapat dinyatakan dengan persamaan (2-14), dari metode bola gelinding maka akan terbentuk daerah lindung dan daerah yang tak terlindungi dari gedung tersebut, dari situ nantinya dapat ditentukan sistem terminasi udara dan tata letak finial yang efisien agar seluruh bangunan gedung dapat terlindungi dari bahaya sambaran petir secara langsung

Selain itu dilakukan pemilihan bahan finial dilihat dari tingkat volume pelelehan dan perancangan sistem penghantar penyalur (*Down Conductor*) meliputi Jumlah penghantar penyalur dan pemilihan bahan penghantar penyalur dan dilanjutkan dengan perancangan sistem pentanahan yang terdiri dari pemilihan sistem elektroda pentanahan.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penentuan Tingkat Proteksi Petir

Sumber: SNI 03-7015-2014 (2004:12)

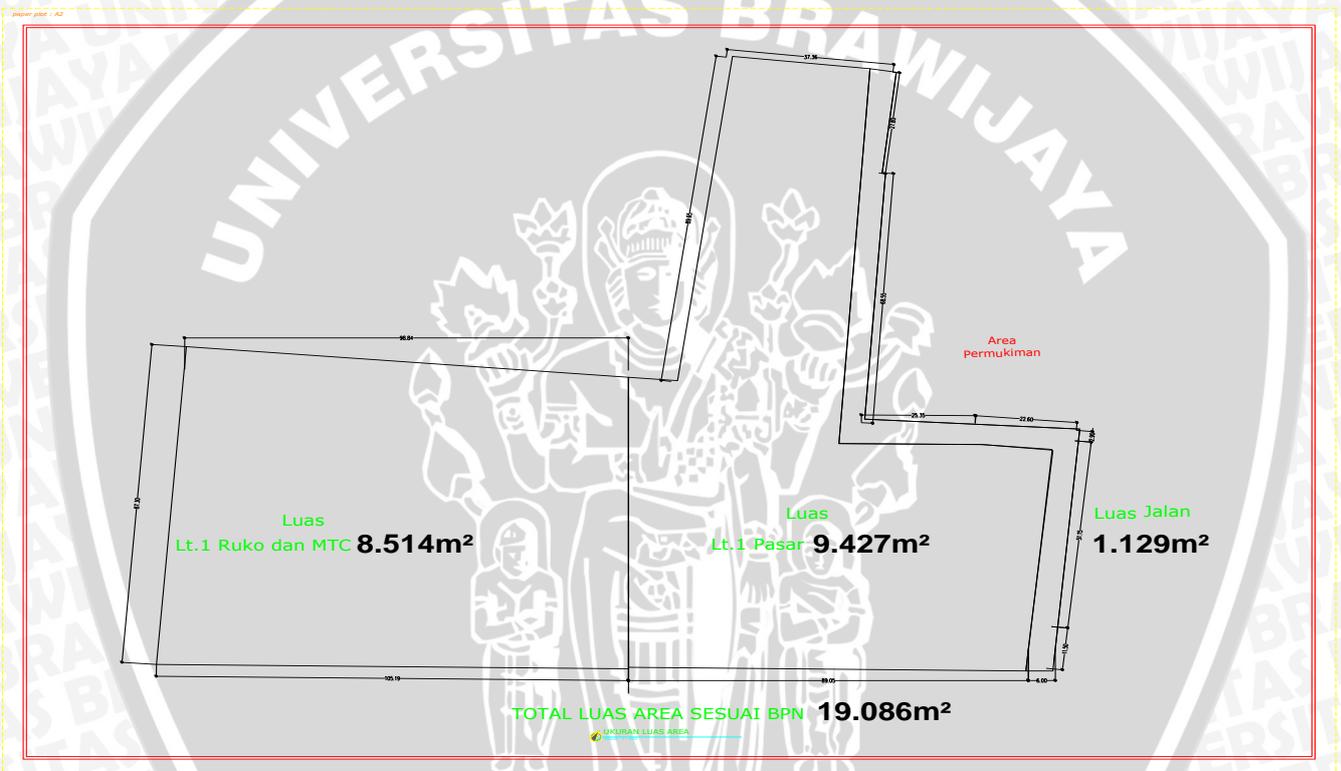
3.4 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan pengambilan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan serta analisis, yaitu kelayakan proyek ini untuk dilaksanakan. Dan juga dilakukan pemberian saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini. Meliputi hal-hal yang menjadi kendala dalam penelitian ini, atau hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi.

BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas bagaimana perancangan sistem proteksi petir eksternal pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang.

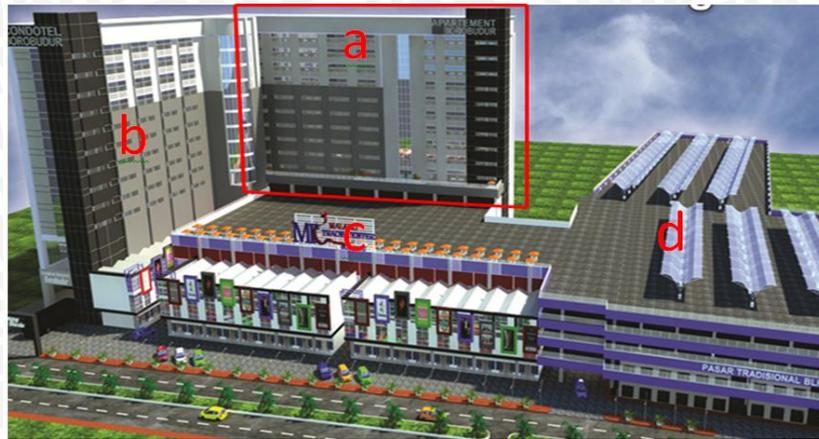
Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang Memiliki memiliki total luas area 19.086 m² dan total luas tanah ±3385,2m² dimana gedung tertinggi memiliki lima belas lantai dengan tinggi 59,5 m. total luas area Gedung tersebut dapat digambarkan pada Gambar berikut:



Gambar 4.1 Total Luas Area Gedung kawasan terpadu Blimbing Kota Malang

Sumber: Unit Usaha dan Kerjasama Badan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Gedung yang akan dibangun itu tersendiri akan dibagi dari zona kelompok gedung sebagai berikut:



Gambar 4.2 Gedung kawasan terpadu Blimbing Kota Malang

Sumber: Unit Usaha dan Kerjasama Badan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

- a. Blok Pasar Modern dan Apartemen terdiri dari gedung trade center (lantai 1 – 5) dan Apartemen (lantai 6-15)
- b. Blok Condotel 15 lantai
- c. Blok ruko dan Pasar Modern terdiri dari gedung trade center 5 lantai (lantai 1-3 Ruko, lantai 3-5 Trade Center)
- d. Blok pasar tradisional gedung pasar tradisional utara (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir) dan gedung pasar tradisional selatan (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir)

Untuk perancangan sistem proteksi petir eksternal itu sendiri ada beberapa tahapan yang dilakukan untuk merancang sistem proteksi petir eksternal, yaitu:

1. Penentuan tingkat proteksi gedung
 - Penentuan kebutuhan proteksi gedung
 - Penentuan klasifikasi level proteksi gedung dan efisiensi sistem proteksi petir eksternal
2. Perancangan sistem proteksi menggunakan metode bola glinding
 - Perhitungan jarak sambar petir
 - Penentuan daerah lindung
3. Perancangan sistem terminasi udara (*finial*)
 - Penentuan peletakan terminasi udara (*finial*)
 - Penentuan bahan terminasi udara (*finial*)
4. Perancangan sistem penghantar penyalur (*down konduktor*)
 - Penentuan letak penghantar penyalur (*down konduktor*)

- Penentuan bahan penghantar penyalur (down konduktor)

3.4.1.1 Penentuan Pentanahan

4.1 Penentuan Kebutuhan Proteksi

Dari data hari guruh yang telah didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika karangkates malang yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan data fisik pada gedung kawasan terpadu blimbing kota yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dapat ditentukan penentuan kebutuhan Proteksi Petir dengan meninjau dari Peraturan Umum Instalasi Penangkal petir.

Tabel 4.1 Data hari guruh Kota Malang tahun 2013

Bulan	Jumlah Hari Guruh
Januari	18
Februari	18
Maret	13
April	15
Mei	13
Juni	15
Juli	6
Agustus	0
September	0
Oktober	5
November	15
Desember	17
Total	135

Sumber:BMG karangkates Malang

Tabel 4.2 Tabel karakteristik gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	59,50 meter
Panjang Gedung	199,55 meter
Lebar Gedung	159,9 meter
Sifat bangunan	Penting
Karakteristik material	Beton bertulang dengan kerangka besi dan bagian atap bukan merupakan logam

Sumber:UKK BPP FT UB

4.1.1 Penentuan Kebutuhan Proteksi Gedung

Sesuai dengan kondisi dan keadaan Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang yang ditulis pada Tabel 4.2, maka sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) maka dapat dijelaskan, bahwa:

- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang adalah sebuah sarana umum yang didalamnya terdapat banyak orang sehingga berdasarkan Tabel 2.4 memiliki nilai **indeks A** sebesar **3 poin**
- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki kontruksi beton bertulang, kerangka besi dan atap bukan logam sehingga berdasarkan Tabel 2.5 memiliki nilai **indeks B** sebesar **2 poin**
- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki tinggi hingga 59,50 meter sehingga berdasarkan Tabel 2.6 memiliki nilai **indeks C** sebesar **6 poin**
- Berhubung kota malang memiliki ketinggian 1150 meter dari permukaan laut maka Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang berdasarkan memiliki nilai **indeks D** sebesar **2 poin**
- Sesuai data dari Stasiun Geofisika Kelas III Karang Kates, Kota Malang memiliki 135 hari guruh pada tahun 2013. Maka Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki nilai **Indeks E** sebesar **7 poin**

Berdasarkan point-point yang sudah dijelaskan di atas maka akan didapat parameter klasifikasi tingkat proteksi dengan menjumlahkan point-point tersebut yang dirumuskan dengan

$$R = A + B + C + D + E$$

Dengan nilai A=3, B=2, C=6, D= 2, E=7

$$R = 3 + 2 + 6 + 2 + 7$$

$$R = 20$$

Dari data tersebut dan mininjau dari Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) Tabel 2.9 tentang perkiraan bahaya sambaran petir maka dapat dijelaskan, bahwa Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang “**sangat memerlukan sebuah sistem proteksi petir**”.

4.1.2 Penentuan Efisiensi Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Klasifikasi Level Proteksi Gedung

Penentuan efisiensi sistem proteksi petir eksternal dapat diperoleh dari beberapa parameter, yaitu perhitungan kerapatan sambaran petir (N_g), luas daerah proteksi efektif (A_e), dan kerapatan sambaran petir tahunan (N_d).

a. Kerapatan Sambaran Petir (N_g)

Kerapatan sambaran petir pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dapat diestimasikan dengan menghitung jumlah sambaran petir pada kawasan tersebut atau juga dapat dirumuskan dengan persamaan (2-2). Dalam hal ini nilai dari kerapatan sambaran petir pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang adalah:

$$N_g = 0,04T_d^{1,25} \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

Dimana T_d adalah hari guruh kota malang pada tahun 2013, jadi:

$$N_g = 0,04 \cdot 135^{1,25} \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

$$N_g = 18,407 \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

b. Luas Daerah Proteksi Efektif (A_e)

Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang termasuk gedung yang luas dan berbentuk kompleks oleh karena itu dalam perhitungan perancangan gedung dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Nilai A_{emax} dan A_{emin} gedung dapat dihitung melalui persamaan:

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

Dengan:

$$\text{Panjang (a) gedung} = 199,55 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (b) gedung} = 159,9 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi (h}_{max}\text{) gedung max} = 59,50 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi (h}_{min}\text{) gedung min} = 17,50 \text{ meter}$$

Sehingga jika nilai h_{max} , maka diperoleh:

$$A_{emax} = 199,55 \cdot 159,9 + 6 \cdot 59,50(199,55 + 159,90) + 9\pi \cdot 59,50^2$$

$$A_{emax} = 260329.9055 \text{ m}^2$$

Sedangkan jika nilai $h_{min} = 17,50$ meter, diperoleh:

$$A_{emin} = 199,55 \cdot 159,9 + 6 \cdot 17,50(199,55 + 159,90) + 9\pi \cdot 17,50^2$$

$$A_{emin} = 78309.30975 \text{ m}^2$$

Karena melihat $A_{e_{max}}$ dan $A_{e_{min}}$ memiliki selisih nilai yang sangat besar maka untuk mendekati nilai $A_{e_{max}}$ dan $A_{e_{min}}$ digunakan persamaan.

$$A_e' = 9\pi(H_p)^2$$

Dengan H_p adalah tinggi maksimum maka didapatkan:

$$A_e' = 9\pi(59,50)^2$$

$$A_e' = 100098,2105 \text{ m}^2$$

c. Kerapatan Sambaran Petir Tahunan (N_d)

Berdasarkan standar IEC 1024-1-1, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan untuk struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah suatu struktur berada telah dinyatakan sebagai berikut (SNI 03-7015-2004:8)

$$N_d = N_g \cdot A_e' \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 18,407 \cdot 100098,2105 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 0,921 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun}$$

Berdasarkan data dari Stasiun Meteorologi dan Geofisika Kota Malang diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) sebesar 10^{-1} sambaran/ km² /tahun. Dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai N_d Gedung kawasan terpadu blimbing kota lebih besar dari pada nilai N_c sehingga diperlukannya sebuah sistem proteksi yang sesuai dengan kondisi bangunan. Efisiensi dari gedung tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$E \geq 1 - N_c/N_d$$

$$E \geq 1 - 0,1/0,921$$

$$E \geq 0,891$$

Setelah didapatkan nilai efisien dari gedung melalui perhitungan maka Berdasarkan standar IEC 62305-3, nilai efisien sistem proteksi berkaitan dengan tingkat yang digunakan pada gedung tersebut Sesuai dengan Tabel 2.11, tingkat proteksi minimal yang dianjurkan untuk gedung kawasan terpadu blimbing kota malang adalah tingkat III yaitu sebesar 91% yang berarti bahwa sistem ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang.

4.2 Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Metode Bola Glinding

Untuk menentukan daerah lindung pada skripsi digunakan metode bola glinding (*Rolling Sphere Method*) dimana prinsipnya adalah dengan menggelindingkan bola dengan jari-jari tertentu melewati gedung/objek untuk mengetahui titik sambaran dan daerah lindung yang terbentuk. Pada metode ini meliputi perhitungan jarak sambar petir dan daerah lindung yang terbentuk pada gedung.

4.2.1 Perhitungan Jarak Sambar Petir

Jarak sambar petir pada petir pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$h_B = 2I_m + 30 \left(1 - e^{-\frac{I_m}{6,8}} \right)$$

Dimana I_m adalah arus puncak petir yang disesuaikan dengan tingkat proteksi gedung yang telah ditentukan sebelumnya. Melihat pada Tabel 2.11 dapat ditentukan bahwa pada gedung kawasan terpadu blimbing kota malang yang memiliki tingkat proteksi petir level III maka I_m yang dipakai adalah 10 kA.

$$h_B = 2 \times 10 + 30 \left(1 - e^{-\frac{10}{6,8}} \right)$$

$$h_B = 43,1063 \text{ meter}$$

dari hasil perhitungan didapatkan nilai jarak sambar sebesar 43,1063 meter. Semakin kecil jari-jari bola berarti semakin kecil pula arus petir yang diperhatikan untuk dapat menyambar gedung. Oleh karena itu dilakukan penyesuaian nilai jari-jari bola dari hasil perhitungan dengan nilai yang tercantum pada Tabel 2.11 sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan nilai jarak sambar adalah sebesar 45 meter.

4.2.2 Penentuan Daerah Lindung

Penentuan daerah lindung pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang digambarkan dalam bentuk 2 dimensi seperti pada Gambar 4.3 sampai Gambar 4.7. Pada penerapan metode bola gelinding pada gedung kawasan terpadu blimbing kota malang tampak depan digambarkan pada Gambar 4.3 sedangkan untuk penerapan metode bola gelinding tampak samping digambarkan pada Gambar 4.4, dimana Bagian gedung yang tersentuh langsung oleh bola adalah tempat terjadinya sambaran petir sedangkan bagian yang tak tersentuh langsung bola merupakan daerah lindung. Daerah lindung pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang ini menggunakan jari jari bola yang ditentukan berdasarkan jarak sambar petir yaitu sebesar 45 meter.

Pada Gambar 4.5 memperlihatkan hasil analisa tampak depan Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dengan metode bola gelinding yaitu dengan menggelindingkan bola berukuran 45 meter di sepanjang gedung. Bola yang di gelindingkan tersebut akan membentuk daerah yang terproteksi dan daerah yang tidak terproteksi oleh sambaran petir dimana daerah yang diarsir merupakan daerah yang terproteksi dan yang tidak terasir merupakan daerah yang tidak terproteksi sedangkan daerah gedung yang dinotasikan dengan angka, yakni 1,2, 3,4,5,6 dan 7 merupakan tempat terjadinya sambaran petir. Jika terjadi sambaran petir dan ujung lidah petir menyentuh permukaan A maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 1 jika ujung lidah petir menyentuh permukaan B maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasikan 2 begitu pula seterusnya ketika lidah petir menyentuh permukaan C maka sambaran petir menuju ke permukaan gedung 3, ujung lidah petir menyentuh permukaan D maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 4, ujung lidah petir menyentuh permukaan E maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 5, ujung lidah petir menyentuh permukaan F maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 6, dan ketika ujung lidah petir menyentuh permukaan G maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 7. Namun ketika terdapat lidah petir yang mendekati perpotongan permukaan antara A dan B, B dan C, C dan D, D dan E, E dan F, F dan G maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung terdekat dari ujung lidah petir. Tetapi kejadian ini mempunyai probabilitas yang kecil untuk dapat terjadi.

Pada Gambar 4.6 memperlihatkan hasil analisa tampak samping Gedung Kawasan Terpadu blimbing kota Malang dengan metode bola gelinding yaitu dengan menggelindingkan bola berukuran 45 meter di sepanjang gedung. Bola yang di gelindingkan tersebut akan membentuk daerah yang terproteksi dan daerah yang tidak terproteksi oleh sambaran petir dimana daerah yang diarsir merupakan daerah yang terproteksi dan yang tidak terasir merupakan daerah yang tidak terproteksi sedangkan daerah gedung yang dinotasikan dengan angka, yakni 1,2, 3,4,5,6 dan 7 merupakan tempat terjadinya sambaran petir. Jika terjadi sambaran petir dan ujung lidah petir menyentuh permukaan A maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi 1 jika ujung lidah petir menyentuh permukaan B maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasikan 2 begitu pula seterusnya ketika lidah petir menyentuh permukaan C maka sambaran petir menuju ke permukaan gedung 3, ujung lidah petir menyentuh permukaan D maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernotasi

4, ujung lidah petir menyentuh permukaan E maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernomor 5, ujung lidah petir menyentuh permukaan F maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernomor 6, dan ketika ujung lidah petir menyentuh permukaan G maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung bernomor 7. Namun ketika terdapat lidah petir yang mendekati perpotongan permukaan antara A dan B, B dan C, C dan D, D dan E, E dan F, F dan G maka sambaran petir akan menuju permukaan gedung terdekat dari ujung lidah petir. Tetapi kejadian ini mempunyai probabilitas yang kecil untuk dapat terjadi.

Pada Gambar 4.7 memperlihatkan hasil analisa tampak atas Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dengan metode bola gelinding yaitu dengan menggelindingkan bola berukuran 45 meter di sepanjang gedung. Bola yang di gelindingkan tersebut akan membentuk daerah yang terproteksi dan daerah yang tidak terproteksi oleh sambaran petir dimana daerah yang diarsir merupakan daerah yang terproteksi dan yang tidak terarsir merupakan daerah yang tidak terproteksi.

4.3 Perancangan Sistem Terminasi udara (*Finial*)

Sistem terminasi udara (*Finial*) digunakan untuk menjauhkan bola Gelinding dari bangunan yang akan dilindungi, dengan didimensikan dengan baik, sistem terminasi udara akan memastikan bahwa bola tidak akan menyentuh bagian manapun dari gedung. Terlindunginya bagian gedung dari bola gelinding maka akan mengurangi dampak akan sambaran petir langsung. Perancangan sistem terminasi udara meliputi penentuan peletakan terminasi udara dan penentuan bahan terminasi udara.

4.3.1 Penentuan peletakan terminasi udara

Bagian dari Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang yang dapat tersambar petir seperti yang digambarkan pada gambar 4.3 sampai dengan gambar 4.7 harus dilindungi oleh sistem terminasi udara yang berfungsi untuk menangkap petir dan menyalurkannya melalui penghantar penyalur menuju ke tanah. Pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang ini karena tinggi gedung lebih tinggi daripada jari-jari bola gelinding maka digunakan konduktor horizontal untuk melindungi sisi gedung dari sambaran petir sedangkan untuk atap gedung digunakan batang vertikal.











Menurut SNI 03-7015-2004 tinggi batang minimal dari batang finial adalah sebesar 2 sampai 3 Meter, maka penggunaan batang finial yang digunakan adalah sebesar 2 Meter. Pada Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang ini penyusunan batang finial diatur dalam susunan segi empat sehingga perlu dipertimbangkan dalam menentukan kedalaman penetrasi bola gelinding. Melihat pada persamaan 2-15 maka jarak aman antar batang *finial* yang masih diperbolehkan agar penetrasi bola gelinding tidak menyentuh atap gedung adalah

$$d = 2 \times (r^2 - (r - p)^2)^{1/2}$$

$$d = 2 \times (45^2 - (45 - 2)^2)^{1/2}$$

$$d = 26,53 \text{ meter}$$

Letak batang finial yang tepat untuk melindungi Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dari sambaran petir langsung dapat ditunjukkan pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.10. Terlihat pada gambar tersebut bahwa gedung membutuhkan 65 batang *finial* setinggi 2 meter dan 3 batang *finial* setinggi 5 meter.

Setelah dilakukan pemasangan sistem terminasi udara pada titik-titik yang telah dijelaskan, maka ketika terdapat ujung lidah petir mengenai batas permukaan sambaran akan langsung diterima oleh sistem terminasi udara. Dimana sistem terminasi udara ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya.

4.3.2 Penentuan Bahan Sistem Terminasi Udara

Untuk pemilihan bahan dan dimensi terminasi udara dilakukan perhitungan seperti berikut.

4.3.2.1 Volume Pelelehan

Finial adalah bagian proteksi petir eksternal yang bertugas pertama kali menangkap sambaran petir. Dalam setiap sambarannya petir membawa energi yang cukup besar sehingga dapat melelehkan bagian *finial* yang tersambar. Besarnya nilai energi petir ini dipengaruhi oleh nilai batas muatan yang didapatkan melalui perhitungan.

Dari persamaan mengenai gelombang arus petir yaitu

$$i(t) = A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6}$$

Dan persamaan besarnya muatan arus petir,

$$Q = \int_0^{\infty} i(t) dt$$

Sehingga

$$Q = \int_0^{\infty} (A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6}) dt$$

Dengan:

$$\text{Konstanta } A_I = 1,0244;$$

$$\text{Arus puncak petir (} I_m \text{)} = 100 \text{ kA};$$

$$\text{Konstanta } a = 0,00204;$$

$$\text{Konstanta } b = 0,5632 \text{ maka}$$

$$Q = \int_0^{\infty} 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} (e^{-0,00204t} - e^{-0,5632t}) \cdot 10^{-6} dt$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \left[\frac{1}{-0,00204} e^{-0,00204t} - \frac{1}{-0,5632} e^{-0,5632t} \right]_0^{\infty}$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$\left[\left(\frac{1}{-0,00204} e^{\infty} - \frac{1}{-0,5632} e^{\infty} \right) - \left(\frac{1}{-0,00204} e^0 - \frac{1}{-0,5632} e^0 \right) \right]$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{0,00204} - \frac{1}{0,5632} \right)$$

$$Q = 50,0338 \text{ As}$$

Nilai tegangan kontak ($U_{A,k}$) bekisar antara puluhan vol, jika ditentukan besarnya $U_{A,K}$ adalah 30 V, sehingga didapatkan nilai energi busur listrik (W) sebesar

$$W = Q \times U_{A,K}$$

$$W = 50,0338 \times 30$$

$$W = 1501,014 \text{ joule}$$

Bahan *finial* yang digunakan dalam perhitungan ini berupa aluminium, besi, dan tembaga. Berikut ini merupakan perhitungan volume pelelehan yang terjadi akibat sambaran petir pada bahan-bahan yang telah ditentukan.

a. Bahan Aluminium

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan Aluminium menggunakan persamaan,

$$Vol = \frac{W}{\gamma c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 2700 \text{ kg/m}^3;$$

$$\text{Tsistematur leleh } (\theta) = 658 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Panas leleh spesifik } (c_s) = 356 \cdot 10^3 \text{ J/kg dan}$$

$$\text{Kapasitas panas spesifik } (c_w) = 908 \text{ J/kg}\cdot\text{K. Sehingga:}$$

$$Vol = \frac{1501,014}{2700} \times \frac{1}{908 \times 658 + 356 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 5,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,583 \text{ cm}^3$$

b. Bahan Besi

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan besi menggunakan persamaan,

$$Vol = \frac{W}{\gamma} \frac{1}{c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 7700 \text{ kg/m}^3;$$

$$\text{Tsistematur leleh } (\theta) = 1350 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Panas leleh spesifik } (c_s) = 272 \cdot 10^3 \text{ J/kg dan}$$

$$\text{Kapasitas panas spesifik } (c_w) = 469 \text{ J/kg} \cdot \text{K, sehingga:}$$

$$Vol = \frac{1501,014}{7700} \times \frac{1}{469 \times 1350 + 272 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 2,1536 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,2154 \text{ cm}^3$$

c. Bahan Tembaga

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan tembaga menggunakan persamaan,

$$Vol = \frac{W}{\gamma} \frac{1}{c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 8920 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Tsistematur leleh } (\theta) = 1080 \text{ }^\circ\text{C,}$$

$$\text{Panas leleh spesifik } (c_s) = 209 \cdot 10^3 \text{ J/kg dan}$$

$$\text{Kapasitas panas spesifik } (c_w) = 385 \text{ J/kg} \cdot \text{K, sehingga}$$

$$Vol = \frac{1501,014}{8920} \times \frac{1}{385 \times 1080 + 209 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 2,6933 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,2693 \text{ cm}^3$$







Maka dari analisis perhitungan dapat disimpulkan bahwa besi memiliki volume pelelehan paling kecil sehingga untuk dimensi sistem terminasi udara digunakan bahan besi (Fe) dengan luas penampang minimum sebesar 50 mm^2 dan ketebalan sebesar 4mm.

4.4 Perancangan Sistem Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Sistem penghantar penyalur adalah salah satu bagian dari sistem proteksi petir yang menghubungkan antara sistem terminasi udara (finial) dan sistem pentanahan. Fungsi dari penghantar penyalur ini sendiri adalah untuk menyalurkan arus petir yang ditangkap oleh sistem terminasi udara ke sistem pentanahan tanpa menyebabkan kerusakan pada bangunan. Perancangan sistem penghantar penyalur meliputi perancangan tata letak penghantar penyalur dan pemilihan bahan sistem penghantar penyalur.

4.4.1 Tata Letak Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 yang ditunjukkan pada Tabel 2.16, nilai rata-rata jarak antara penghantar penyalur terkait dengan jarak aman untuk tingkat proteksi III adalah 20m jika lebih besar dari ini maka jarak aman harus ditingkatkan dan untuk mendapatkan induktansi sekecil mungkin, konduktor penyalur harus dirancang sependek mungkin oleh karena itu perancangan tata letak penghantar penyalur untuk Gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang digambarkan pada Gambar 4.11 sampai dengan 4.13.

Pada Gambar 4.11 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang tampak atas, sedangkan pada gambar 4.12 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang tampak depan dan pada gambar 4.13 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang tampak samping dimana jumlah keseluruhan penghantar penyalur yang diperlukan untuk menghubungkan antara batang finial dan grounding adalah 39 buah.

4.4.2 Penentuan Bahan Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Untuk pemilihan bahan penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang berdasarkan SNI 03-7015-2004 agar tahan terhadap korosi digunakan tembaga, aluminium atau baja galvanis. Dari ketiga jenis penghantar tersebut, kemudian akan dilakukan perbandingan yang mana nantinya akan dipilih salah satu bahan untuk digunakan sebagai penghantar penyalur petir.

Harga $\int i^2 dt$ sangat mTabelngaruhi pemanasan pada penghantar yang dilalui arus listrik. Besarnya harga $\int i^2 dt$ ditentukan melalui perhitungan berikut:







$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I^2 \cdot I_m^2 (e^{-at} - e^{-bt})^2 (10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I^2 \cdot I_m^2 (e^{-2at} - 2e^{-(a+b)t} + e^{-2bt})) (10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = A_I^2 \cdot I_m^2 (10^{-6})^2 \left[\frac{1}{-2a} e^{-2at} - \frac{2}{-(a+b)} e^{-(a+b)t} + \frac{1}{-2b} e^{-2bt} \right]_0^{\infty}$$

Dengan nilai $A_I = 1,0244$; $I_m = 100 \text{ kA}$; $a = 0,00204$; dan $b = 0,5632$, maka

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2 \cdot (100 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2 \cdot \left[\frac{1}{-2 \cdot 0,00204} e^{-2 \cdot 0,00204 t} - \frac{2}{-(0,00204 + 0,5632)} e^{-(0,00204 + 0,5632)t} + \frac{1}{-2 \cdot 0,5632} e^{-2 \cdot 0,5632 t} \right]_0^{\infty}$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2 \cdot (100 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2 \left[-\left(\frac{1}{-0,00408} e^0 + \frac{2}{0,56524} e^0 - \frac{1}{1,1264} e^0 \right) \right]$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 2,4165 \cdot 10^{-6} \text{ A}^2 \text{ s}$$

Besarnya luas penampang minimum yang dibutuhkan tiap-tiap bahan dengan batas kenaikan temperatur yang diijinkan (θ) sebesar 100 K adalah sebagai berikut,

a. Alumunium

$$q = \sqrt{\left[\frac{\int i^2 dt \rho}{\gamma c_w} \cdot \frac{1}{\ln(\theta \alpha + 1)} \right]}$$

Dengan,

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 2,9 \cdot 10^{-8} \Omega \text{ m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 2700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 908 \text{ J/kg} \cdot \text{K, sehingga}$$

$$q = \sqrt{\left[\frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{2700 \cdot 908} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 1,8434 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 18,4340 \text{ mm}^2$$

b. Besi

$$q = \sqrt{\left[\frac{\int i^2 dt \rho}{\gamma c_w} \cdot \frac{1}{\ln(\theta \alpha + 1)} \right]}$$

Dengan,

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K};$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 12 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m};$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 7700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 469 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$q = \sqrt{\left[\frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}}{7700 \cdot 469} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 3,2284 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 32,2840 \text{ mm}^2$$

c. Tembaga

$$q = \sqrt{\left[\frac{\int i^2 dt \rho}{\gamma c_w} \cdot \frac{1}{\ln(\theta \alpha + 1)} \right]}$$

Dengan,

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K};$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 1,78 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m};$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 8920 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 385 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$q = \sqrt{\left[\frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3}}{8920 \cdot 385} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 1,2184 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 12,1840 \text{ mm}^2$$

Maka dari analisis perhitungan dapat disimpulkan bahwa tembaga memiliki luas penampang minimum yang dibutuhkan paling kecil dari ketiga bahan tersebut sehingga untuk bahan *down conductor* pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang digunakan bahan tembaga dengan luas penampang minimum $12,1840 \text{ mm}^2$.

Jumlah penghantar penyalur yang digunakan juga mTabelngaruhi berapa jumlah arus yang disalurkan pada masing-masing konduktor. Sesuai dengan persamaan arus terusan pada gelombang berjalan

$$i_t = 2 \left(1 - \frac{1}{n}\right) \cdot i_i$$

Dengan n merupakan jumlah penghantar penyalur dan i_i merupakan arus petir yang diterima maka,

- 39 penghantar penyalur

$$i_t = 2 \left(1 - \frac{1}{39}\right) \cdot 100$$

$$i_t = 194,87 \text{ kA} \approx 4,99 \text{ kA (tiap penghantar)}$$

Sehingga untuk ketiga buah penghantar mengalir arus sebesar 4,99 kA.

4.5 Penentuan Pentanahan

Semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan maka semakin baik sistem pentanahan, oleh karena itu dalam perancangan sistem pentanahan pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dibutuhkan perhitungan nilai resistansi pentanahan pada lokasi pembangunan.

4.5.1 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran nilai resistansi tanah dilakukan dua kali dengan menggunakan 1 batang elektroda dan 2 batang elektroda yang dipasang secara paralel dengan kedalaman elektroda sebagai variabel yang dirubah. Pengukuran dilakukan di 4 titik berbeda yang digambarkan pada gambar 4.14. Dilakukan pula pengukuran dengan 3 batang elektroda yang dipasang secara paralel pada titik A untuk mengetahui efektifitas penambahan jumlah konduktor. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran resistansi tanah pada titik A dan Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran nilai resistansi tanah pada gedung terpadu kawasan blimbing kota Malang.

Tabel 4.3 Hasil Hengukuran Resistansi Tanah Titik A

Kedalaman (cm)	Resistansi Pembumian (Ω)		
	1 Elektroda	2 Elektroda	3 Elektroda
10	207,3	71	68,7
20	126,2	48,1	45,3
30	94,1	29,7	27,9
40	83,3	25,2	23
50	58,6	20,4	19,5
60	44,5	19,5	14
70	38,6	17,4	15,8
80	207,3	13,2	11
90	126,2	10,3	9,4
100	94,1	8,6	8,1

Sumber : Hasil Pengukuran

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Resistansi Tanah

Kedalaman elektroda (cm)	Resistansi Pentanahan (Ω)							
	Titik A		Titik B		Titik C		Titik D	
	Elektroda		Elektroda		Elektroda		Elektroda	
	1	2	1	2	1	2	1	2
10	207,3	71	206,1	70,2	207,8	71,5	205,7	68,7
20	126,2	48,1	126,8	48,3	128,3	48,8	125,9	47,4
30	94,1	29,7	93,9	28,4	95,2	30,1	93	28,1
40	83,3	25,2	81,7	23,7	84	26,3	82,8	24
50	58,6	20,4	56,1	18,8	58,1	19,7	58,4	20,1
60	44,5	19,5	42,8	18,1	46,5	20,1	42,1	18,7
70	38,6	17,4	37,3	16	39	18,3	37,5	16,3
80	36,7	13,2	34,5	11,7	37,8	15	36	11,7
90	28,6	10,3	26,4	8,8	30,1	11,6	27,8	9,5
100	25,9	8,6	23,2	7	27,7	9,9	25	6,9

Sumber : Hasil Pengukuran



4.5.2 Analisis Data Pengukuran

Berdasarkan tabel 4.3 dan 4.4 maka dapat disimpulkan bahwa semakin dalam penanaman batang elektroda, maka nilai resistansi tanah yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu pula dengan menggunakan dua batang elektroda yang dihubungkan secara paralel maka akan semakin kecil pula nilai resistansi tanah yang dihasilkan.

Dengan metode regresi geometris dari data hasil pengukuran yang dilakukan didapatkan fungsi y terhadap x yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6 dan dari fungsi tersebut didapatkan grafik resistansi tanah pada titik A yang digambarkan pada gambar 4.15 , 4.16 dan 4.17.

Tabel 4.5 Hasil Regresi Geometris Resistansi Tanah titik A

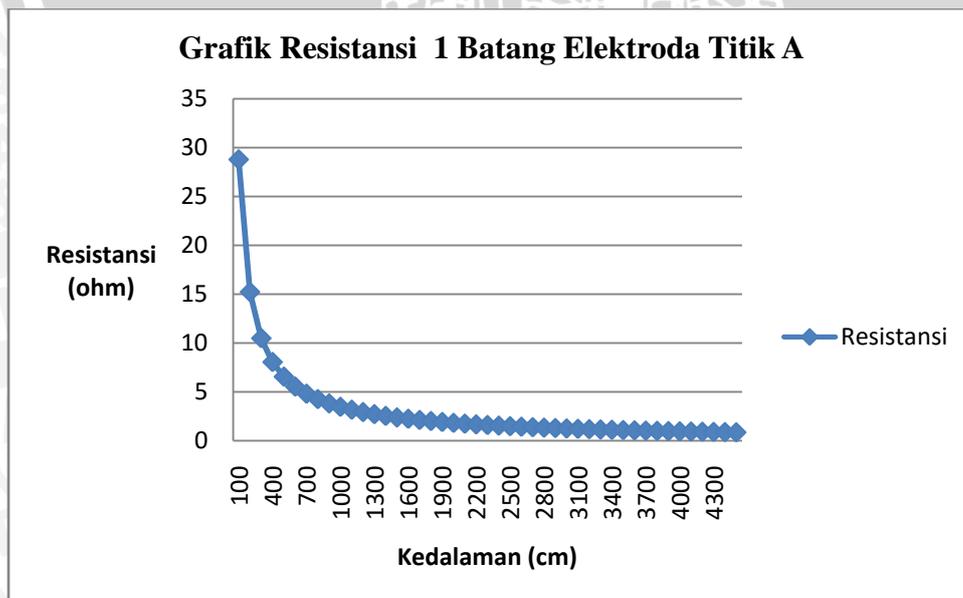
Elektroda	Titik A
1	$y = 1972,2 x^{-0,9179}$
2	$y = 611,7 x^{-0,879}$
3	$y = 653,7 x^{-0,924}$

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 4.6 Hasil Regresi Geometris Resistansi Tanah

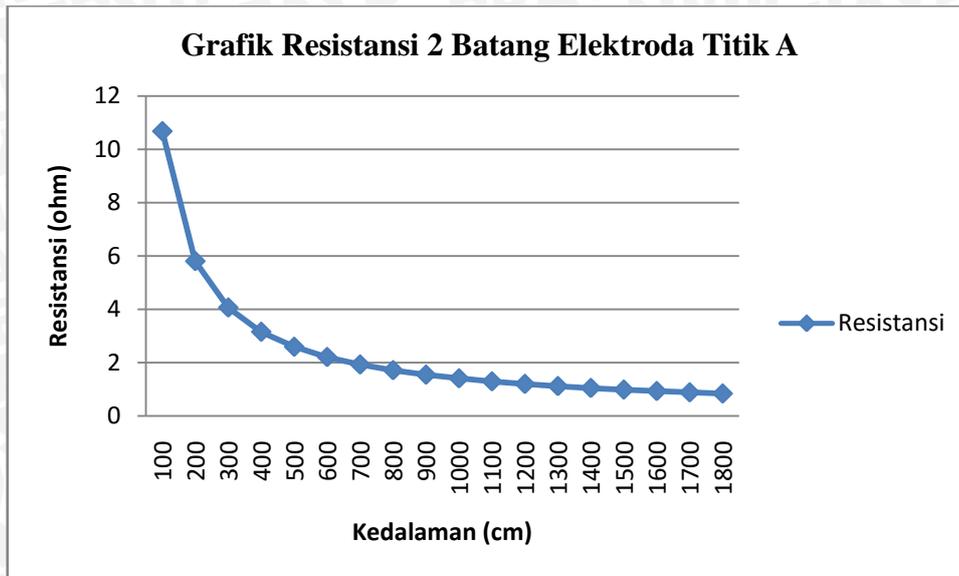
Elektroda	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
1	$y = 1972,2 x^{-0,9179}$	$y = 2219,4 x^{-0,9591}$	$y = 1868,2 x^{-0,8976}$	$y = 2039,5 x^{-0,9319}$
2	$y = 611,7 x^{-0,879}$	$y = 750,5 x^{-0,9542}$	$y = 524,6 x^{-0,8249}$	$y = 694,8 x^{-0,9303}$

Sumber : hasil perhitungan



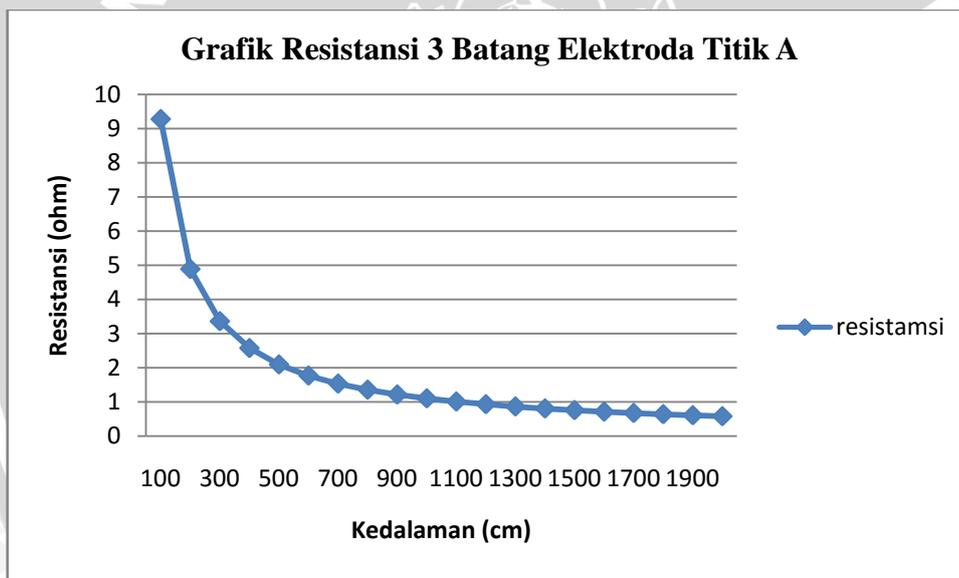
Gambar 4.15 Grafik Resistansi Pentanahan dengan satu batang elektroda

sumber : hasil perhitungan



Gambar 4.16 Grafik resistansi pentanahan dengan dua batang elektroda

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 4.17 Grafik resistansi pentanahan dengan tiga batang elektroda

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil perhitungan regresi geometris didapatkan nilai resistansi tanah sebesar 1Ω pada kedalaman tanah yang ditunjukkan pada tabel 4.7 dan 4.8.

Tabel 4.7 Kedalaman Elektroda Pada titik A

Jumlah Elektroda	Kedalaman Elektroda (m)
	Titik A
1	38,9
2	14,8
3	11,14

Dari tabel kedalaman elektroda pada titik A didapatkan untuk mendapatkan nilai resistansi tanah sebesar 1Ω dengan menggunakan 1 batang elektroda membutuhkan total elektroda sepanjang 38,9 meter, sedangkan jika menggunakan 2 batang elektroda membutuhkan total elektroda sepanjang 29,6 meter dan jika menggunakan 3 batang elektroda membutuhkan total elektroda 33,42 meter. Maka dengan hasil resistansi yang sama maka digunakan total panjang elektroda paling kecil yaitu dengan 2 batang elektroda yang di pasang paralel.

Tabel 4.8 Kedalaman Elektroda

Jumlah Elektroda	Kedalaman Elektroda (m)			
	Titik A	Titik B	Titik C	Titik D
1	38,9	30,8	44	35,6
2	14,8	10,3	19,8	11,3

Sumber: hasil Perhitungan

Dari tabel kedalaman elektroda maka didapatkan nilai kedalaman rata-rata elektroda untuk penanaman 1 batang elektroda agar mendapatkan nilai resistansi sebesar 1Ω adalah 37,325 meter sedangkan untuk penanaman 2 batang elektroda agar mendapatkan nilai resistansi sebesar 1Ω adalah 14,04 meter.

Dari hasil pengukuran juga dapat diketahui nilai resistivitas tanah untuk mengetahui jenis tanah yang terdapat pada lokasi pembangunan. Dengan menggunakan persamaan (2-23) maka:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Pada kedalam 100 cm dengan 1 batang elektroda didapatkan tahanan pentanahan sebesar $25,9\Omega$, sehingga

$$25,9 = \frac{\rho}{2\pi \cdot 1} \left(\ln \frac{4 \cdot 1}{8 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)$$

$$\rho = 31,196 \Omega\text{m}$$

$$\rho = 3119,6 \Omega\text{cm}$$

Berdasarkan dengan tabel 2.17 maka jenis tanah pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang adalah berupa campuran antara tanah liat dan tanah kebun.

Untuk pengukuran 2 batang elektroda yang dipasang secara paralel, berdasarkan SNI-7015-2004 jarak minimum antar elektroda didapatkan dengan persamaan,

$$D = b \cdot \rho^{0,4} kc^{0,5}$$

Dengan

$$b = 0,25$$

$$kc = 6$$

$$\rho = 31,19\Omega\text{m}$$

Sehingga,

$$D = 0,25 \cdot 6^{0,4} 31,19^{0,5}$$

$$D = 2,85 \text{ meter}$$

4.5.3 Tegangan langkah

Dalam sebuah perancangan sistem pentanahan perlu juga diperhitungkan besar tegangan langkah yang terjadi, tegangan langkah pada sistem pentanahan gedung dirumuskan sebagai berikut,

$$E_t = K_L K_i \rho \frac{I}{L}$$

$$K_i = 0,65 + 0,172 n$$

$$K_L = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0,5^{n-2}) \right]$$

Dengan,

$$\rho = 31,19\Omega\text{m}$$

$$I = 4990 \text{ A}$$

$$L = 1095,12 \text{ m}$$

$$n = 11$$

$$h = 14,04 \text{ m}$$

$$D = 2,85 \text{ m}$$

Sehingga,

$$K_i = 0,65 + 0,172 (11)$$

$$K_i = 2,542$$

$$K_L = \frac{1}{3,14} \left[\frac{1}{2 \cdot (14,04)} + \frac{1}{2,85 + 14,04} + \frac{1}{2,85} (1 - 0,5^{11-2}) \right]$$

$$K_L = 0,142$$

$$E_t = 0,142 \cdot 2,542 \cdot 31,19 \cdot \frac{4990}{1095,12}$$

$$E_t = 51,3 \text{ V}$$

Dari perhitungan didapat nilai tegangan langkah pada pentanahan gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang adalah sebesar 51,3 V dan berdasarkan tabel 2.20 nilai tegangan tersebut masih dalam batas aman.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari keseluruhan analisis perancangan sistem proteksi petir eksternal pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya adalah:

1. Tingkat proteksi petir yang sesuai untuk gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang adalah tingkat proteksi ketiga dengan efisiensi proteksi sebesar sebesar 91% yang berarti bahwa sistem ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang.
2. Sistem Proteksi petir eksternal yang sesuai dengan tingkat proteksi ketiga pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang adalah:
 - Sistem terminasi udara membutuhkan membutuhkan 65 batang *finial* setinggi 2 meter dan 3 batang *finial* setinggi 5 meter diletakkan pada titik-titik tempat terjadinya sambaran petir yang digambarkan pada gambar 4.8 sampai dengan 4.10. untuk dimensi sistem terminasi udara digunakan bahan besi (Fe) dengan luas penampang minimum sebesar 50 mm^2 dan ketebalan sebesar 4mm.
 - Sistem penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang menggunakan 39 buah penghantar yang digambarkan pada gambar 4.11 sampai dengan 4.13. untuk bahan *down conductor* pada gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang digunakan bahan tembaga dengan luas penampang minimum $12,1840 \text{ mm}^2$.
 - Sedangkan sistem pentanahan yang dibutuhkan untuk gedung ini sebanyak 39 buah pentanahan dan untuk mendapatkan tahanan pentanahan kurang dari 1 ohm tiap-tiap pentanahan tersusun atas 2 batang elektroda yang dipasang secara paralel dengan panjang paling tidak 14,05 meter dan jarak 2,85 meter. Nilai tegangan langkah pada pentanahan adalah 51,3 volt

5.2 Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai jenis dan harga komponen dipasaran untuk mendapatkan proteksi yang lebih baik dan mengetahui perhitungan total biaya yang dibutuhkan untuk merancang sistem proteksi petir pada gedung.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 1. 1983. "Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia". Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.4
- Anonim 2. 2004. "Standarisasi Nasional Indonesia Proteksi Bangunan terhadap Petir". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anto. 2013. "Analisis Sistem Proteksi Petir"<http://www.scribd.com/doc/178227754/Analisis-Sistem-Proteksi-Petir>. diakses tanggal 04 Februari 2014
- Ardra. 2010. "mengukur resistivitas tanah, metoda wenner". <http://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/korosi-corrosion/mengukur-resistivitas-tanah-metoda-wenner>. diakses tanggal 01 februari 2014
- Cooray, Vernon. 2010. "Lightning Protection". United Kingdom: Athenaem Press Ltd.
- Dehn+Söhne. 2007. "*Lightning Protection Guide*". Germany: Dehn+Söhne.
- IEC. 2006. "*IEC 62305-1: General Principles*". Switzerland: International Electrotechnical Commission.
- IEC. 2006. "*IEC 62305-3: Physical Damage to Structure and Life Hazard*". Switzerland: International Electrothecnic Commission.
- Murdiansyah, Nautika. 2011 "Petir". <http://nautika-murdiansyah.blogspot.com/2011/04/petir.html>. diakses tanggal 04 februari 2014
- Nadhiroh, Nuha. 2012 "*Perancangan Sistem Proteksi Eksternal Terhadap Sambaran Petir Langsung Pada Gedung Utama Fakultas Ekonomi Dan Bisnis Universitas Brawijaya*". Malang
- Hasse, Peter. 1998. "*Overvoltage Protection of Low Voltage System*". United Kingdom: Lightning Source UK Ltd.
- Prabandoko, Habib. 2008. "*Studi Evaluasi Sistem Terminasi Udara Pada Gedung Bertingkat Dengan Metode Bola Bergulir, Sudut Perlindungan dan Metode Jala*". Jakarta.
- Susanto, Tri. 2011. "Metode Geolistrik Resistivitas". <http://trisusantosetiawan.wordpress.com/2011/01/04/metode-geolistrik-resistivitas/>. diakses tanggal 01 februari 2014
- Tagg, G.F. 1964. "*Earth Resistance*". London: The Whitefriars Press Ltd.



LAMPIRAN I

Foto Alat





Gambar Digital Earth Tester Model 4105A



Gambar Kabel Penghubung dan Konduktor Pentanahan

LAMPIRAN 2

KYORITSU 4105A User Manual

























LAMPIRAN 3

Data Fisik Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang









LAMPIRAN 4

Data Hari Guruh Kota Malang Tahun 2013

