

**DESAIN SISTEM PROTEKSI EKSTERNAL GEDUNG TERHADAP SURJA
PETIR DI MUSEUM NEGERI LAMPUNG**

Skripsi

Oleh:

MUHAMAD MIRZA ARIEF WAHYUADJI

NPM. 1915031023



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2024

ABSTRAK

DESAIN SISTEM PROTEKSI EKSTERNAL GEDUNG TERHADAP SURJA PETIR DI MUSEUM NEGERI LAMPUNG

Oleh

Muhamad Mirza Arief Wahyuadji

Indonesia, berada diantara garis ekuator, merupakan negara kepulauan yang 70% wilayahnya dikelilingi lautan. Penguapan air laut yang tinggi dan beberapa kondisi lainnya dapat menyebabkan terbentuknya awan hujan. Salah satu daerah yang memiliki hari guruh terbanyak yaitu Lampung, Bandar Lampung. Jumlah hari guruh yang banyak dapat menyebabkan sambaran petir meningkat. Kerusakan yang ditimbulkan akibat sambaran petir dapat menyebabkan manusia beserta koleksi museum yang berada di dalam gedung tersebut. Untuk melindungi objek dari sambaran petir langsung dan tidak langsung diperlukan SPP eksternal. Penelitian ini mendesain sistem proteksi petir eksternal dan sistem pentanahan pada Gedung Museum Negeri Lampung dengan metode Bola Bergulir dan Metode Sudut Proteksi. Untuk Sistem pentanahan yang didesain menggunakan metode elektroda batang parallel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode bola bergulir membutuhkan lima batang finial agar seluruh bangunan dapat terproteksi dari sambaran petir dengan radius proteksi sambaran petir sebesar 20 meter sedangkan pada metode sudut proteksi membutuhkan sembilan batang finial agar seluruh bangunan terproteksi dari sambaran petir dengan radius proteksi sambaran petir sebesar 22,13 meter. Pada sistem pentanahan menggunakan empat batang elektroda yang diparalelkan hasil perhitungan resistansi tanah yang didapat pada desain ini sebesar $4,89 \Omega$

Kata kunci: sistem proteksi petir, metode sudut proteksi, metode bola bergulir, sistem pentanahan

ABSTRACT

DESIGN OF THE BUILDING'S EXTERNAL LIGHTNING PROTECTION SYSTEM AGAINST LIGHTNING SURGES AT THE LAMPUNG STATE MUSEUM

By

MUHAMAD MIRZA ARIEF WAHYUADJI

Indonesia, located between the equator, is an archipelago with 70 % of its territory surrounded by sea. High evaporation of sea water and several other conditions can cause the formation of rain clouds. Damaged caused by lightning strikes can cause humans and the museum collections inside the building. To protect objects from direct and indirect lightning strikes, an external lightning protection system is required. This research designs an external lightning protection system and grounding system for the Lampung State Museum Building using rolling sphere method and Protection Angle Method. For grounding systems designed using the parallel rod electrode method. This research results show that the rolling sphere method requires five air terminal so that the entire building can be protected from lightning strikes with a lightning strike protection radius 20 meters, whereas the angle protection method requires nine air terminal so that the entire building isprotected from lightning strike protection radius 22,13 meters. In the grounding system using four electrode rods paralalled, the resistance calculation resulted in this designed is 4,89 Ω

Keywords: external lightning protection systems, angle protecton method, rolling sphere method, grounding systems

**DESAIN SISTEM PROTEKSI EKSTERNAL GEDUNG TERHADAP SURJA
PETIR DI MUSEUM NEGERI LAMPUNG**

Oleh

MUHAMAD MIRZA ARIEF WAHYUADJI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

**DESAIN SISTEM PROTEKSI
EKSTERNAL GEDUNG TERHADAP
SURJA PETIR DI MUSEUM NEGERI
LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: **Muhamad Mirza Arief Wahyudji**

Nomor Pokok Mahasiswa

: 1915031023

Program Studi

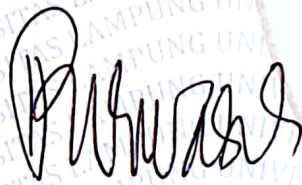
: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.

NIP. 197404222000122001



Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.

NIP. 197005281998032003

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.

NIP 197103141999032001



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.

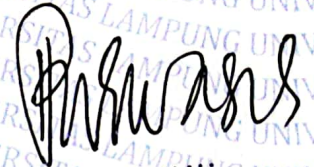
NIP 197404222000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

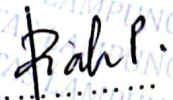
Ketua

: Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.



Sekretaris

: Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.



Penguji

: Dr. Herman H. Sinaga, S.T., M.T.



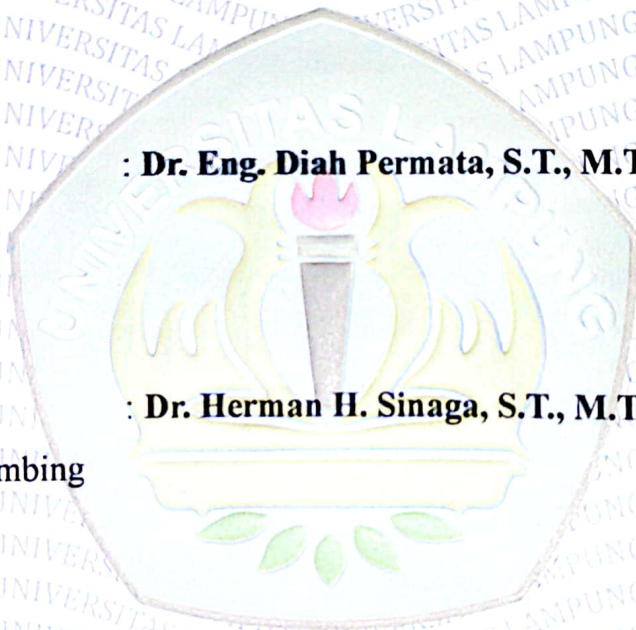
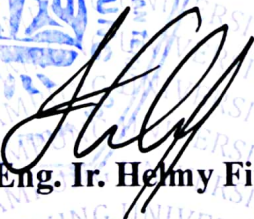
Bukan Pembimbing

2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung

Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M. Sc.

NIP 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 19 Januari 2024



SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Mirza Arief Wahyuadji

Npm : 1915031023

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “DESAIN SISTEM PROTEKSI EKSTERNAL GEDUNG TERHADAP SURJA PETIR DI MUSEUM NEGERI LAMPUNG” merupakan asli penelitian saya. Pada skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepengetahuan saya tidak terdapat atau ditebitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Januari 2024



METERAI
TEMPEL
3000
DATA LXC107504376

Muhamad Mirza

NPM. 1915031023

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Jakarta, 12 Agustus 2000. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara.

Pendidikan Penulis SDN 05 Bendungan Hilir pada tahun 2006 hingga 2012, SMPN 40 Jakarta pada tahun 2012 hingga 2015, dan SMAN 35 Jakarta pada tahun 2015 hingga 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2019 melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa penulis tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dari tahun 2021. Selain itu, penulis tergabung dalam lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro (Himatro) sebagai anggota Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri Divisi Minat dan Bakat selama periode pertama dari tahun 2019 hingga 2020 dan pada periode kedua dari tahun 2020 hingga 2021. Penulis juga menjadi anggota divisi administrasi pada organisasi Actual Self resources dari tahun 2021 hingga 2022, Penulis melaksanakan kerja praktik di PT Indonesia Power, Cilegon, Banten dan mengangkat judul “Sistem Proteksi *Over Current Relay Gas Turbine 2 Starting Motor* di Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Cilegon”

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah Atas Izin Allah SWT

***Dengan Rasa Hormat, Cinta, dan Kasih
Sayang Karya Ilmiah ini Kupersembahkan
Untuk***

Ibu dan Adik-adik Tercinta

***Yang Senantiasa Mencintai, Memotivasi,
Mendoakan yang Terbaik Untuk Saya***

***Keluarga Besar, Guru, Dosen, Teman Dan
Almamater Tercinta***

MOTTO

“(Dialah) yang menjadikanmu bagimu bumi (sebagai) hamparan dan langit sebagai atap, dan Dialah yang menurunkan air (hujan dari langit, lalu Dia menghasilkan dengan (hujan) itu buah-buahan sebagai rezeki untuk kamu. Oleh karena itu, janganlah kamu mengadakan pertandingan-tandingan bagi allah, padahal kamu mengetahui

(QS. Al-Baqarah : 22)

Tegakkanlah salat, tunaikanlah zakat, dan rukuklah beserta orang-orang yang rukuk

(QS. Al-Baqarah : 43)

Success comes from keeping the ears open and the mouth closed

(Kesuksesan datang dari telinga yang selalu mendengar dan mulut yang tidak banyak bicara)

~John. D. Rockefeller~

SANWACANA

Segala puji bagi Allah, atas limpahan nikmat-Nya yang diberikan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Skripsi ini. Shalawat dan salam senantiasa dicurahkan kepada Nabi Muhamad, suri tauladan yang mampu membuka sesuatu yang terkunci, penutup dari semua yang terdahulu, penolong kebenaran dengan jalan yang benar, dan petunjuk kepada jalan-Mu yang lurus.

Skripsi dengan judul “Desain Sistem Proteksi Eksternal Gedung Terhadap Surja Petir di Museum Negeri Lampung” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas segala nikmat dan anugerah yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Kerja Praktik ini
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A, I.P.M selaku rektor Universitas Lampung
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M. Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung
5. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung sekaligus dosen pembimbing utama yang telah

memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan, dan pandangan kehidupan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah

6. Ibu Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan, dan pandangan kehidupan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah
7. Bapak Dr. Herman Halomoan Sinaga, S.T., M.T. selaku pembimbing pendamping yang telah memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan, dan pandangan kehidupan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah
8. Ibu, adik-adik, nenek, dan semua keluarga besar yang selalu memberikan motivasi dan do'a kepada penulis sehingga saya dapat mengerjakan dan menyelesaikan skripsi ini dengan baik
9. Joseph Nicholas, Hari Agus, Ronald Agustinus teman seperjuangan yang selalu mendukung penulis agar Skripsi ini terselesaikan dengan baik
10. Keluarga Besar Teknik Elektro dan Teknik Informatika 2018 Universitas Lampung
11. Semua pihak yang ikut serta membantu dalam pengerjaan dan penyelesaian Skripsi ini
12. Seluruh Staff Jurusan Teknik Elektro serta Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi
13. Semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan pengerjaan skripsi namun tidak dapat disebutkan satu per satu

Semoga Allah SWT senantiasa selalu membalas seluruh kebaikan kalian semua, dan memberi keberkahan atas terselesainya Skripsi ini. Amin.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan Skripsi. Karena hal tersebut penulis sangat terbuka untuk masukan dan kritik serta saran.
Wassalamualaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, 03 Maret 2024

Penulis,

Muhamad Mirza

NPM. 1915031023

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
SURAT PERNYATAAN	vii
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Teori Dasar	6
2.2.1 Sistem Proteksi Petir	6
2.2.2 Metode Sistem Proteksi Petir Eksternal Menurut Standar IEC 62305-3	7
2.2.3 Komponen Sistem Proteksi Petir	12
2.2.4 Taksiran Resiko (Risk Assessment).....	15
2.2.5 Resistivitas Tanah	24
2.2.6 Metode Tiga Titik	25
III. METODE PENELITIAN	26
3.1 Waktu dan Tempat	26
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	26
3.3 Tahapan Penelitian	27
3.4 Metode Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal.....	27

3.5	Prosedur menentukan jari jari bola bergulir	30
3.6	Prosedur Menentukan Sudut Proteksi	31
3.7	Prosedur Mengukur Resistansi Pentanahan	33
3.8	Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal dengan Autocad	34
3.9	Diagram Alir Penelitian	36
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1	Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Menggunakan Metode Bola Bergulir	38
4.1.1	Klasifikasi Struktur Gedung Museum Negeri Lampung	38
4.1.2	Penilaian Resiko dan Tingkat Proteksi	40
4.1.3	Menghitung Densitas Sambaran Petir ke Tanah (Ng).....	42
4.1.4	Menentukan Frekuensi Sambaran Petir Diperbolehkan pada Gedung (Nc)	43
4.1.5	Menghitung Perkiraan Frekuensi Sambaran Petir Langsung (Nd).....	44
4.1.6	Melakukan Analisis Efisiensi Sistem Proteksi Petir yang Diperlukan (Ec)	44
4.1.7	Mendesain Sistem Proteksi Petir Eksternal Menggunakan Metode Bola Bergulir	46
4.1.8	Zona Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Gedung Museum Lampung Menggunakan Metode Bola Bergulir	48
4.2	Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Menggunakan Metode Sudut Proteksi ...	49
4.2.1	Mendesain Sistem Proteksi Petir Eksternal Menggunakan Metode Sudut Proteksi	49
4.2.2	Zona Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Gedung Museum Lampung Menggunakan Metode Sudut Proteksi.....	54
4.3	Desain Sistem Pentanahan	54
4.4	Analisis Sistem Proteksi Petir Eksternal	57
4.4.1	Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal	57
4.4.2	Desain Sistem Pentanahan	58
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1	KESIMPULAN	59
5.2	SARAN	59
	DAFTAR PUSTAKA	60
	LAMPIRAN.....	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Proteksi Petir pada bangunan	7
Gambar 2.2 Metode Bola Bergulir.....	8
Gambar 2.3 Metode Sudut Proteksi	9
Gambar 2.4 Metode Jala (<i>Mesh</i>)	11
Gambar 2.5 Struktur batang finial.....	12
Gambar 2.6 Konduktor pentanahan	13
Gambar 2.7 Struktur sistem pentanahan	14
Gambar 2.8 Metode pengukuran tiga titik	26
Gambar 3.1 Tampilan menu <i>draw</i>	35
Gambar 3.2 Tampilan menu <i>layers</i>	35
Gambar 3.3 Tampilan menu <i>annotation</i>	36
Gambar 4.1 Museum Lampung	41
Gambar 4.2 Tampak depan Museum Lampung.....	42
Gambar 4.3 Tampak samping Museum Lampung.....	42
Gambar 4.4 Tampak belakang Museum Lampung	42
Gambar 4.5 Pemasangan sistem proteksi petir eksternal pada gedung Museum Negeri Lampung Metode Bola Bergulir	47
Gambar 4.6 Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Metode Bola Bergulir Tampak Depan.....	48
Gambar 4.7 Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Metode Bola Bergulir Tampak Belakang	48
Gambar 4.8 Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Metode Bola Bergulir Tampak Tiga Dimensi.....	48
Gambar 4.9 Zona proteksi petir Metode Bola Bergulir	49
Gambar 4.10 Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal Metode Sudut Proteksi 3D.....	53
Gambar 4.11 Zona proteksi petir Metode Sudut Proteksi.....	55
Gambar 4.12 Desain Sistem Pentanahan pada Tampak Belakang Gedung Museum Lampung.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Penempatan terminasi udara sesuai dengan tingkat proteksi	8
Tabel 2.2	Penentuan sudut proteksi petir berdasarkan tingkat proteksi.....	9
Tabel 2.3	Dimensi minimum bahan sistem penangkal petir	13
Tabel 2.4	Faktor δ elektroda paralel	15
Tabel 2.5	Macam struktur bangunan.....	16
Tabel 2.6	Konstruksi bangunan.....	17
Tabel 2.7	Tinggi bangunan	17
Tabel 2.8	Situasi bangunan	18
Tabel 2.9	Pengaruh kilat	18
Tabel 2.10	Perkiraan bahaya	18
Tabel 2.11	Tingkat proteksi dan efisiensi	20
Tabel 2.12	Jenis struktur	21
Tabel 2.13	Jenis konstruksi.....	22
Tabel 2.14	Lokasi bangunan	22
Tabel 2.15	Topografi.....	23
Tabel 2.16	Penggunaan dan isi bangunan.....	23
Tabel 2.17	Isokeraunik level.....	23
Tabel 2.18	Perkiraan bahaya petir menurut standar NFPA 780.....	24
Tabel 2.19	Jenis-jenis tanah beserta resistivitasnya.....	25
Tabel 3.1	Jadwal dan aktivitas	27
Tabel 3.2	Alat dan bahan	34
Tabel 4.1	Nilai tipikal dari <i>tolerable risk</i> (RT).....	44
Tabel 4.2	Data hasil pengukuran resistansi tanah di Museum Lampung.....	56

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia merupakan negara kepulauan yang 70 % wilayahnya dikelilingi lautan. Penguapan air laut yang tinggi dan beberapa kondisi lainnya dapat menyebabkan terbentuknya awan hujan. Karena itu, Indonesia merupakan negara dengan frekuensi sambaran petir paling banyak. Berdasarkan data dari BMKG, Bandar Lampung memiliki sambaran petir sebanyak 112 hari. Jumlah hari guruh hujan yang banyak dapat menyebabkan sambaran yang petir meningkat. Kerusakan yang ditimbulkan akibat sambaran petir dapat membahayakan manusia beserta koleksi museum yang berada di dalam gedung tersebut. Untuk melindungi objek dari sambaran petir langsung dan tidak langsung, diperlukan sistem proteksi petir eksternal. Sistem proteksi petir eksternal terdiri dari terminasi udara atau batang finial, penghantar penyalur (*down conductor*) serta, sistem pentanahan. Gedung Museum Negeri Lampung yang terletak di Jalan Z.A. Pagar Alam no 64 berada pada tanah yang datar memiliki luas lahan 17.010 meter persegi dan mempunyai dua buah lantai. Dalam bangunan terdapat benda koleksi museum.

Penelitian ini mendesain ulang sistem proteksi petir eksternal pada Museum Lampung dengan mendesain penempatan batang finial, *down conductor*, dan elektroda pentanahan pada suatu gedung. Sistem proteksi petir eksternal merupakan bagian pada sistem *mechanical, electrical, dan plumbing* (MEP) dimana harus memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) yang berlaku terkait keamanan operasional. Standar utama yang harus dipenuhi adalah sistem MEP yang sesuai dengan Pedoman Umum Instalasi Listrik (PUIL) baik untuk sistem pentanahan dan sistem proteksi petir eksternal. Sistem proteksi petir eksternal menjadi perhatian khusus karena bahaya petir dapat merusak peralatan serta mengancam keselamatan penghuni gedung tersebut sesuai dengan standar yang tertuang pada SNI-03-7015-2004. Arus petir dapat mengalir ke elektroda pentanahan dengan cepat dan elektroda pentanahan akan didesain dengan Metode Elektroda Paralel untuk menghasilkan resistansi tanah dibawah 5 Ω .

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana menghitung zona proteksi dan penempatan penangkal petir suatu gedung berdasarkan kebutuhan sistem proteksi petir eksternal dengan Autocad dan Sketchup ?
2. Bagaimana mendesain sistem pentanahan sesuai dengan standar PUIL agar nilai resistansi tanah dibawah 5Ω ?
3. Bagaimana menganalisis metode sistem proteksi petir eksternal yang efektif untuk Gedung Museum Negeri Lampung ?

1.3 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengamati dan mengukur sistem pentanahan eksternal pada Gedung Museum Negeri Lampung.
2. Mendesain sistem *down conductor* dan sistem pentanahan.
3. Mendesain dan menganalisis metode sistem proteksi petir eksternal pada Gedung Museum Negeri Lampung dengan Metode Bola Bergulir dan Sudut Proteksi.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Mendapatkan desain sistem proteksi petir eksternal yang baru pada Gedung Museum Negeri Lampung.
2. Merekomendasikan sistem proteksi petir eksternal yang tepat untuk Gedung Museum Negeri Lampung.
3. Mendapatkan desain sistem pentanahan yang baru pada Gedung Museum Negeri Lampung.
4. Merekomendasikan sistem pentanahan yang tepat untuk Gedung Museum Negeri Lampung.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Membuat desain sistem proteksi petir eksternal gedung menggunakan Metode Bola Bergulir dan Metode Sudut Proteksi tanpa *prototype*.
2. Jenis tanah di sekitar Gedung Museum Negeri Lampung diasumsikan jenis tanah liat.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang landasan yang berisi teori-teori dasar yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, metode desain sistem proteksi petir eksternal, metode desain sistem proteksi petir eksternal, prosedur menentukan jari-jari bola bergulir, prosedur menentukan sudut proteksi, prosedur mengukur resistansi pentanahan, desain sistem proteksi petir eksternal dengan Autocad, dan diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil dari penelitian yang dilakukan, seperti desain sistem proteksi petir eksternal menggunakan Metode Bola Bergulir, desain sistem proteksi petir eksternal menggunakan Metode Sudut Proteksi, desain sistem pentanahan, dan analisis sistem proteksi petir eksternal.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk masa yang akan datang pada penelitian ini.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam suatu penelitian senantiasa dibutuhkan sejumlah dukungan yang berasal dari hasil penelitian sebelumnya. Adapun hasil penelitian yang dimaksud harus berkaitan dengan penelitian yang tengah dilakukan saat ini. Berikut merupakan hasil penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini :

Hosea, Emmy, 2004, meneliti tentang penentuan terminasi udara menggunakan tiga metode yaitu Metode Jala, Metode Sudut Proteksi, dan Metode Bola Bergulir pada Gedung W UK Petra. Pada Metode Jala dibutuhkan satu batang finial yang dipasang pada bagian tertinggi atap bangunan sehingga didapat radius proteksi sambaran petir sebesar 15 meter. Pada Metode Sudut Proteksi dibutuhkan satu buah batang finial yang dipasang pada bagian tertinggi atap bangunan dan didapat sudut proteksi sebesar 25° dengan radius proteksi sambaran petir sebesar 23,77 meter^[1]. Pada Metode Bola Bergulir dibutuhkan tiga batang finial dengan radius bola bergulir sebesar 45 meter sehingga didapat radius proteksi sambaran petir sebesar 44,99 meter.

Zoro, Reynaldo, 2013, meneliti tentang desain sistem proteksi petir eksternal pada area perkantoran yang terletak di Subang, Jawa Barat. Sistem proteksi petir eksternal ini didesain dengan menggunakan plat besi. Karena bentuk Gedung Auditorium yang unik maka di pasang plat besi agar area perkantoran tersebut dapat terlindungi dari sambaran petir. Area perkantoran ini termasuk Auditorium yang terletak di tengah-tengah ke lima bangunan. Sistem proteksi petir eksternal ini dianalisis menggunakan Metode Bola Bergulir untuk melindungi seluruh bangunan dari sambaran petir^[2]. Pada Metode Bola Bergulir dibutuhkan satu batang finial sepanjang 15 meter yang dipasang pada bagian tertinggi atap bangunan auditorium dan plat besi pada bagian tepi atap bangunan auditorium agar bangunan auditorium beserta kelima bangunan yang berada di antara bangunan auditorium dapat terlindungi oleh sambaran petir. Pada metode ini di dapat radius sambaran petir sebesar 102 meter.

Pratama, Rendi Bagus, 2016, meneliti tentang desain sistem proteksi petir eksternal pada bangunan *prilling tower* pabrik 1 PT Petrokimia Gresik, Pada bangunan

prilling tower dengan tinggi 80 meter dan lebar 14 meter sudah terdapat sistem proteksi petir eksternal eksisting yang dipasang sebelah bangunan *prilling tower* dengan tinggi 86 meter dan lebar 2,5 meter sebanyak 1 batang finial dipasang setinggi 5 meter dari atap bangunan sehingga, menghasilkan radius proteksi sambaran petir sebesar 100 meter^[3]. Pada desain baru yang di rancang menggunakan Metode Bola Bergulir untuk menganalisis penempatan batang finial. Desain ini membutuhkan dua batang finial, batang finial pertama ditempatkan pada bangunan di sebelah *prilling tower* dengan tinggi 86 meter dan lebar 2,5 meter dengan tinggi batang finial 5 meter dari atap menara dan batang finial kedua dipasang pada bagian tengah atap *prilling tower* dengan tinggi batang finial sebesar 3 meter. Pada desain ini didapatkan tingkat proteksi IV dengan radius bola bergulir sebesar 60 meter maka berdasarkan perhitungan didapat radius proteksi sambaran petir sebesar 349,5 meter.

Singhasthein, Arnon, 2019, mendesain ulang sistem proteksi petir eksternal pada Gedung Fakultas Sains dan Teknologi *Rajamagala University of Technology Phranakhon* (RMUTP), Thailand menggunakan Metode Bola Bergulir. Gedung Fakultas Sains dan Teknologi memiliki panjang 38,06 meter lebar 30 meter, dan tinggi 43 meter serta belum memiliki sistem proteksi petir eksternal^[4]. Pada desain ini menggunakan batang finial sepanjang 1 meter dengan 11 batang finial yang dipasang pada atap bangunan. Desain ini berada pada tingkat 4 dengan radius bola bergulir sebesar 60 meter dan berdasarkan perhitungan didapat radius proteksi sambaran petir sebesar 60,62 meter.

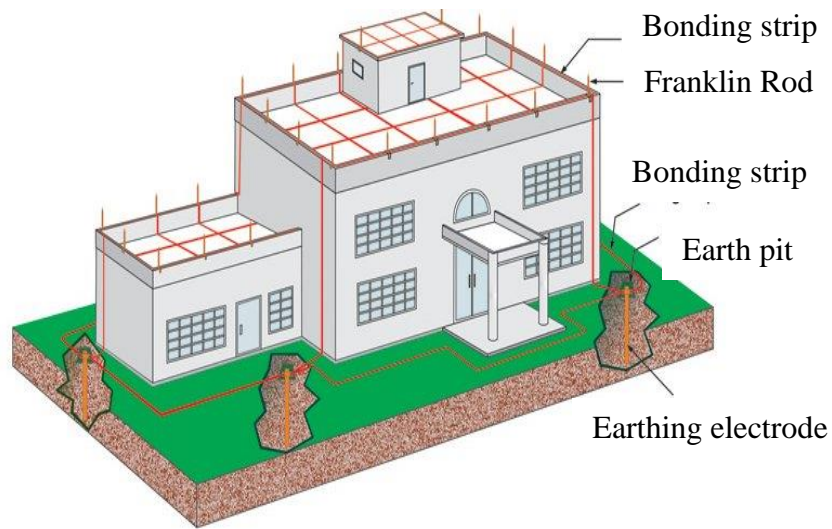
Aprillia, Happy, 2022, meneliti tentang desain sistem proteksi petir eksternal dan sistem pentanahan pada gedung perkuliahan Institut Teknologi Kalimantan dengan memenuhi standar SNI 03-7015-2004 dan belum memiliki sistem proteksi petir eksternal. Pada desain sistem proteksi petir eksternal ini menggunakan batang finial sebanyak 9 buah dengan tinggi batang finial sebesar 4 meter dan desain sistem pentanahan ini menggunakan *grounding plate* sebanyak 4 buah dengan dimensi 500 x 500 mm^[5]. Berdasarkan perhitungan desain ini menghasilkan radius proteksi sambaran petir sebesar 20,12 meter dan pada sistem pentanahan desain ini menghasilkan nilai resistansi pentanahan kurang dari 5 ohm, hal ini sudah sesuai dengan standar PUIL.

Medika, Aditya Surya, 2023, meneliti tentang desain sistem proteksi petir eksternal pada gedung SMK Sultan Agung 1 Tebuireng Jombang. Pada penelitian ini akan mendesain sistem proteksi petir eksternal pada tiga gedung di SMK Sultan Agung 1 Tebuireng Jombang yaitu gedung 2A, 2B, dan bengkel yang belum memiliki sistem proteksi petir eksternal^[6]. Pada desain ini Gedung 2A menggunakan 5 buah batang finial, Gedung 2B menggunakan 3 buah batang finial, dan Gedung bengkel menggunakan 3 batang finial. Desain ini menggunakan Metode Sudut Proteksi dengan sudut proteksi pada Gedung 2A sebesar $71,68^\circ$, Gedung 2B sebesar $71,78^\circ$, dan Gedung Bengkel sebesar $71,78^\circ$ dengan radius proteksi sambaran petir yang didapat masing-masing pada gedung 2A 30,52 meter, Gedung 2B 30,37 meter, dan Gedung Bengkel 30,37 meter. Selanjutnya, untuk sistem pentanahan didesain dengan 2 buah batang rod dengan kedalaman 3 meter pada jarak antar elektroda sebesar 15 meter sehingga didapatkan nilai resistansi tanah sebesar 3,1 ohm.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Sistem Proteksi Petir

Sistem proteksi petir merupakan sistem yang melindungi dari sambaran petir baik secara langsung ataupun tidak langsung. Sambaran petir secara langsung dapat mengakibatkan kebakaran, ledakan, dan sengatan listrik sedangkan sambaran petir tidak langsung dapat mengakibatkan kesalahan operasi pada peralatan elektronik yang diakibatkan dari kestabilan transien peralatan. Pada Gambar 2.1 merupakan sebuah sistem proteksi petir pada sebuah gedung yang terdiri dari *Franklin Rod* (batang finial) yang berfungsi untuk menangkap petir, *bonding strip* (konduktor pentanahan) yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir, *earth pit* (daerah penanaman elektroda) sebagai tempat penanaman elektroda, dan *earthing electrode* (elektroda pentanahan) yang berfungsi untuk menetralkan arus petir. Sistem proteksi petir dibuat untuk mengalirkan arus petir berlebih dengan aman menuju tanah. Sistem proteksi petir yang baik akan menurunkan beda tegangan antara bangunan atau fasilitas publik sehingga mampu memberikan perlindungan yang maksimal dari sengatan listrik^[7].



Gambar 2.1 Sistem Proteksi Petir pada bangunan

2.2.2 Metode Sistem Proteksi Petir Eksternal Menurut Standar IEC 62305-3

1. Metode Bola Bergulir

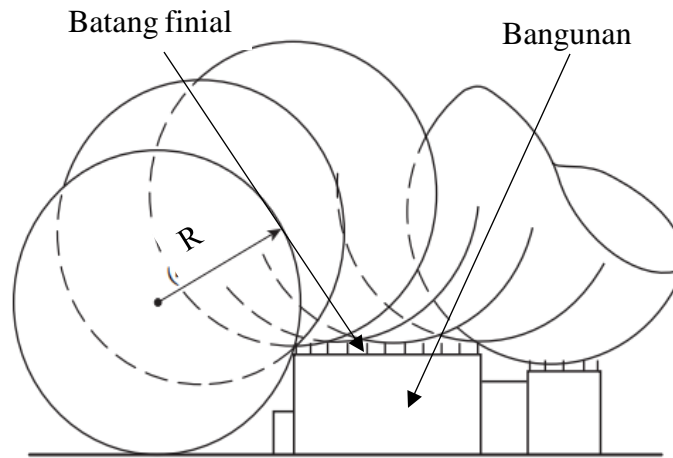
Metode Bola Bergulir baik digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Metode ini ada suatu bola dengan radius R yang bergulir ke segala arah hingga bertemu tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Metode Bola Bergulir cocok digunakan pada bangunan yang bentuknya rumit. Pada Gambar 2.2 merupakan gambar Metode Bola Bergulir yang diterapkan pada suatu bangunan untuk mendesain penempatan batang finial. Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir di atas tanah dan mengelilingi struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi. Titik sentuh bola bergulir pada struktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus diproteksi oleh konduktor terminasi udara. Berdasarkan IEC 62305-1 *International Standard ICS 29.020*^[8] Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir dan dinyatakan sebagai berikut :

$$R = 10I^{0,65} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

R = Jari-jari bola bergulir (m)

I = Besar arus petir (kA)



Gambar 2.2 Metode Bola Bergulir

Berikut ini merupakan Tabel 2.1 untuk menentukan jari-jari bola bergulir berdasarkan *Lightning Protection Level* (Tingkat Proteksi) sesuai standar SNI 03-7015-2004 ICS 91.120.40^[9] :

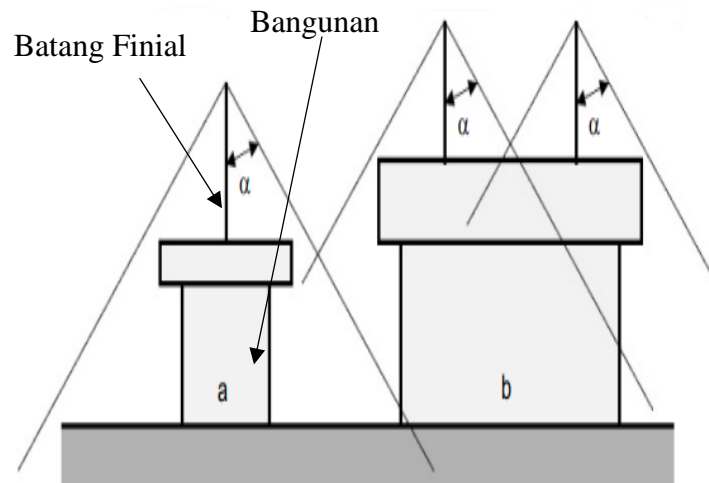
Tabel 2.1 Penempatan terminasi udara sesuai dengan tingkat proteksi

Interception criteria			LPL (<i>Lightning Protection Level</i>)			
	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	R	m	20	30	45	60

2. Metode Sudut Proteksi

Metode Sudut Proteksi tidak dapat digunakan pada bangunan gedung yang lebih tinggi dari radius bola bergulir. Daerah yang diproteksi adalah daerah yang berada di dalam kerucut dengan sudut proteksi. Metode Sudut Proteksi paling cocok untuk bangunan simetris ramping atau bangunan yang dibuat menjulang tinggi keatas dengan bentuk

atap yang sederhana/ tidak rumit. Pada Gambar 2.3 merupakan penerapan Metode Sudut Proteksi pada suatu bangunan.



Gambar 2.3 Metode Sudut Proteksi

Batang finial dipasang sedemikian rupa pada setiap bagian dari struktur gedung bertingkat untuk melindungi bangunan gedung tersebut berdasarkan sisi dari kerucut yang melindungi bangunan dari sambaran petir. Berdasarkan *British Standard BS EN 62305 Protection Against Lightning Q06054*^[10] berikut ini adalah Tabel 2.2 untuk menentukan besarnya sudut proteksi dan radius proteksi sambaran petir pada Gedung Museum Lampung berdasarkan tingkat proteksi (*Lightning Protection Level*) :

Tabel 2.2 Penentuan sudut proteksi petir berdasarkan tingkat proteksi (LPL)

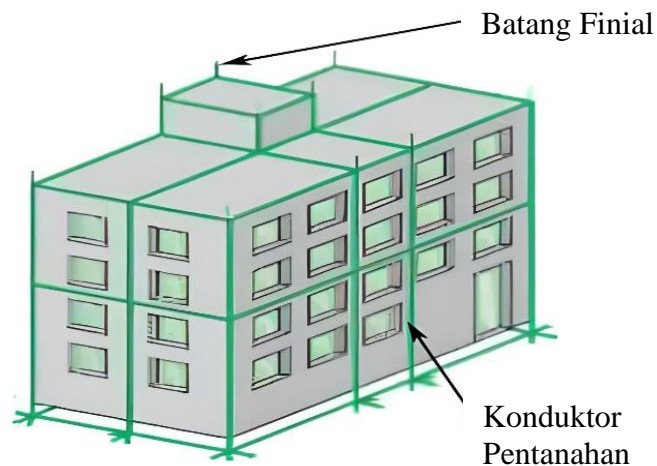
Height of air rod above reference plane (m)	LPL Class IV		LPL Class III		LPL Class II		LPL Class I	
	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)
1	78.7	5.0	76.3	4.1	73.2	3.3	70.0	2.7
2	78.7	10.0	76.3	8.2	73.2	6.6	70.0	5.5
3	76.7	12.7	74.1	10.5	70.1	8.3	66.3	6.8
4	74.7	14.6	72.0	12.3	67.1	9.5	62.6	7.7
5	72.8	16.1	69.9	13.6	64.4	10.4	59.1	8.4
6	71.0	17.4	67.9	14.8	62.0	11.3	55.9	8.9
7	69.3	18.5	66.0	15.7	59.7	12.0	53.0	9.3
8	67.7	19.5	64.3	16.6	57.6	12.6	50.2	9.6
9	66.2	20.4	62.6	17.4	55.6	13.2	47.7	9.9

Height of air rod above reference plane (m)	LPL Class IV		LPL Class III		LPL Class II		LPLClass I	
	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)
10	64.7	21.2	61.1	18.1	53.8	13.6	45.2	10.1
11	63.4	21.9	59.6	18.7	52.0	14.1	42.8	10.2
12	62.1	22.6	58.2	19.3	50.3	14.4	40.4	10.2
13	60.8	23.3	56.8	19.8	48.6	14.8	38.1	10.2
14	59.6	23.9	55.4	20.3	47.0	15.0	35.8	10.1
15	58.4	24.4	54.1	20.7	45.4	15.2	33.6	10.0
16	57.3	24.9	52.8	21.1	43.8	15.3	31.4	9.8
17	56.2	25.4	51.5	21.4	42.3	15.4	29.2	9.5
18	55.2	25.9	50.3	21.7	40.6	15.4	27.1	9.2
19	54.2	26.3	49.1	21.9	39.2	15.5	24.9	8.8
20	53.2	26.7	47.9	22.1	37.7	15.5	22.8	8.4
21	52.3	27.1	46.6	22.2	36.3	15.4		
22	51.3	27.5	45.5	22.4	34.8	15.3		
23	50.5	27.9	44.3	22.4	33.4	15.1		
24	49.6	28.2	43.1	22.5	31.9	15.0		
25	48.8	28.5	42.0	22.5	30.5	14.7		
26	48.0	28.8	40.9	22.5	29.0	14.4		
27	47.2	29.1	39.8	22.5	27.5	14.0		
28	46.4	29.4	38.7	22.5	25.9	13.6		
29	45.6	29.6	37.7	22.4	24.4	13.1		
30	44.8	29.8	36.7	22.3	22.8	12.6		
31	44.1	30.0	35.7	22.3				
32	43.3	30.2	34.7	22.1				
33	42.6	30.3	33.7	22.0				
34	41.8	30.4	32.8	21.9				
35	41.1	30.5	31.8	21.7				
36	40.3	30.6	30.9	21.5				
37	39.6	30.6	29.9	21.3				
38	38.8	30.6	29.0	21.1				
39	38.1	30.6	28.1	20.8				
40	37.3	30.5	27.2	20.5				
41	36.6	30.4	26.2	20.2				
42	35.9	30.3	25.3	19.9				
43	35.1	30.2	24.4	19.5				
44	34.4	30.1	23.5	19.2				

Height of air rod above reference plane (m)	LPL Class IV		LPL Class III		LPL Class II		LPLClass I	
	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)
45	33.6	29.9	23.5	19.6				
46	32.9	29.8						
47	32.2	29.6						
48	31.5	29.4						
49	30.7	29.1						
50	30.0	28.9						
51	29.3	28.6						
52	28.5	28.3						
53	27.8	28.0						
54	27.1	27.6						
55	26.4	27.3						
56	25.7	26.9						
57	24.9	26.5						
58	24.2	26.1						
59	23.5	25.7						
60	22.8	25.2						

3. Metode Jala (Mesh)

Metode Jala juga dikenal dengan Metode Sangkar Faraday. Pada Gambar 2.4 merupakan penerapan Metode Jala (Mesh) pada suatu bangunan. Pada metode ini seluruh batang finial dihubungkan dengan konduktor pentanahan agar arus petir dapat mengalir ke tanah. Metode ini cocok untuk bangunan dengan bentuk balok/ kotak.



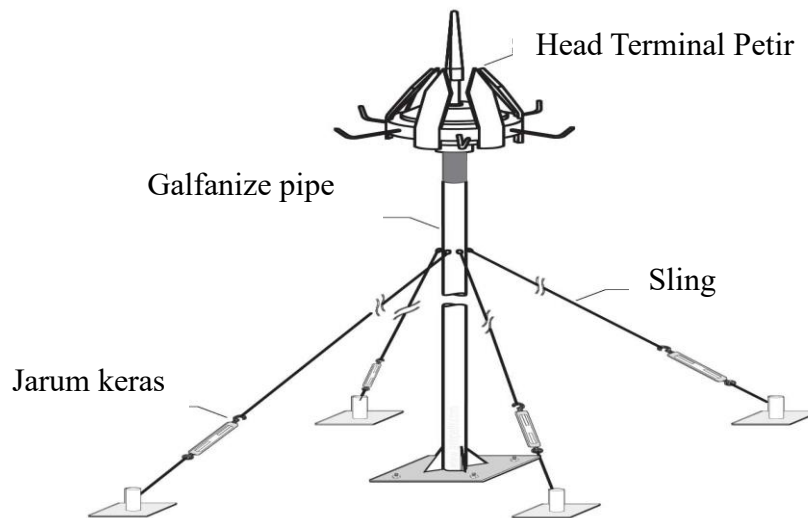
Gambar 2.4 Metode Jala (*Mesh Method*)

2.2.3 Komponen Sistem Proteksi Petir

Sistem proteksi petir terdiri dari beberapa komponen yang ditentukan dengan benar dan dipasang dengan baik sehingga dapat dengan aman mengalirkan arus petir menuju tanah. Sistem proteksi petir memiliki konduktor dengan impedansi rendah yang dapat mengalirkan arus menuju tanah. Sistem proteksi petir dirancang dengan benar sesuai dengan standar dan memastikan kelayakan dari konduktor dan penangkal petir serta lingkungan sekitar agar terhindar dari sengatan ataupun sambaran petir^[11]. Berikut ini beberapa komponen proteksi petir :

1. Batang Finial

Batang finial terbuat dari tembaga, perunggu, atau aluminium dengan luas sebesar $0,323 \text{ m}^2$ dan panjang 23 m. Pada Gambar 2.5 merupakan struktur batang finial yang terdiri dari *head terminal* petir yang berfungsi untuk menangkap sambaran petir, *Galvanize pipe* yang berfungsi sebagaiudukan *head terminal* Petir, *sling* yang berfungsi sebagai penyangga *Galvanize Pipe*, dan jarum keras yang berfungsi untuk mengaitkan *sling* dengan atap bangunan. Batang finial harus terbuat dari *stainless steel*, logam monel atau tembaga padat yang ada isolator.

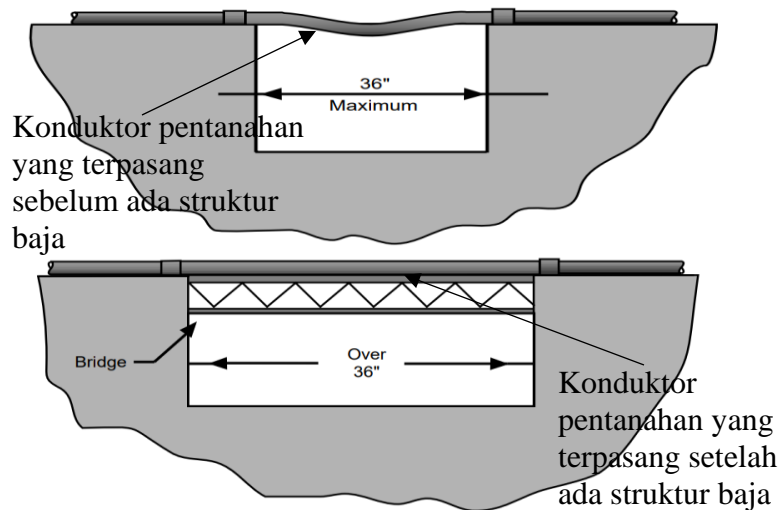


Gambar 2.5 Struktur batang finial

2. Konduktor

Konduktor menghubungkan batang finial dengan komponen lainnya yaitu, struktur bangunan dan elektroda pentanahan. Pada Gambar 2.6 Struktur bangunan dibuat dari

kolom baja yang digunakan dalam konstruksi bangunan untuk mengalirkan arus petir menuju elektroda pentanahan. Terlihat pada Gambar 2.6 konduktor pentanahan masih tertekuk sebelum ada struktur baja pada suatu bangunan. Dalam bangunan besar, struktur baja yang berat memberikan jalur impedansi yang rendah menuju tanah daripada memisahkan konduktor yang terpasang pada sistem proteksi petir. Kolom baja bisa digunakan sebagai konduktor karena arus listrik pada petir tidak dapat menghancurkan struktur bangunan. Konduktor harus dipasang horizontal atau ke arah bawah dari batang finial menuju elektroda pentanahan dan tidak bisa ditekuk lebih dari 90° dan memiliki jari-jari pada lengkungan yang tidak lebih dari 200 mm. Konduktor minimal harus berstandar NFPA-780, UL96, atau IEEE std 80^[12].



Gambar 2.6 Konduktor pentanahan

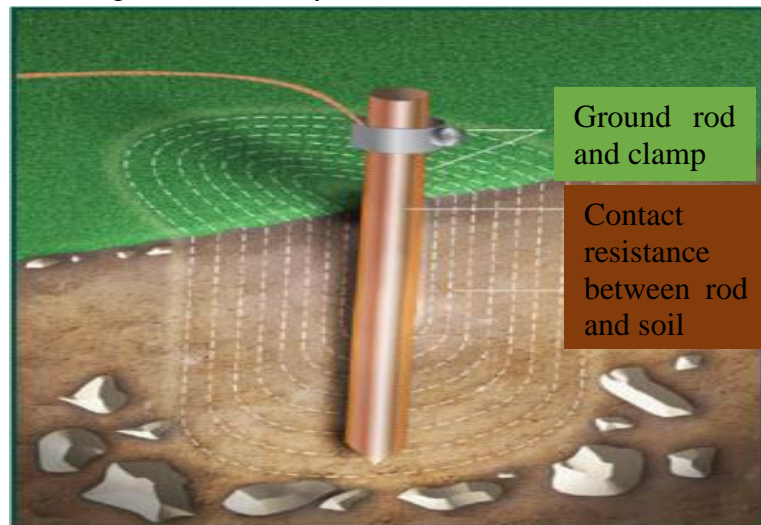
Berikut ini merupakan Tabel 2.3 untuk menentukan dimensi minimum konduktor pentanahan pada sistem proteksi petir eksternal berdasarkan SNI-03-7015-2004 :

Tabel 2.3 Dimensi Minimum Bahan Sistem Penangkal Petir

Tingkat Proteksi	Bahan	Terminasi Udara (mm^2)	Konduktor Penyalur (mm^2)	Elektroda Pentanahan (mm^2)
I sampai IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

3. Elektroda Pentanahan

Secara umum sistem pentanahan adalah suatu rangkaian/ jaringan mulai dari kutub pembumian/ elektroda, hantaran penghubung/ konduktor sampai terminal pembumian yang berfungsi untuk menyalurkan arus lebih ke bumi sehingga dapat memberikan proteksi terhadap manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi agar dapat terhindar dari bahaya arus dan tegangan yang berasal dari luar sistem sehingga perangkat elektronik dapat beroperasi sesuai dengan ketentuan teknis sebagaimana mestinya^[13].



Gambar 2.7 Struktur sistem pentanahan

Elektroda pentanahan digambarkan seperti pada Gambar 2.7. Berdasarkan *practical grounding, bonding, shielding, and surge protection* ISBN 0750663995^[14] persamaan yang digunakan untuk menentukan resistansi tanah sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{8l}{d} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas tanah (Ω .m)

l = Panjang elektroda (m)

d = Diameter elektroda (m)

R = Resistansi tanah

Pemasangan dua, tiga atau lebih batang elektroda pentanahan yang dihubungkan dengan bahan konduktor secara paralel. Metode ini sangat efektif dan mudah untuk

memperkecil nilai total (R total) dari tahanan pentanahan. Umumnya batang elektroda yang paralel ditanam berjajar membentuk garis lurus, berbentuk segitiga, bujur sangkar, dan lingkaran.

Berdasarkan *British Standard Code of Practice for Earthing* BS 7430:1998^[15] dijelaskan bahwa resistansi pentanahan elektroda batang paralel (R_n) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$R_n = \frac{1+\delta a}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$a = \frac{\rho}{2\pi R s} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

R_n = Resistansi paralel

s = Jarak antara elektroda

n = Jumlah elektroda batang

δ = Faktor yang diberikan pada tabel 2.4

ρ = Resistivitas tanah

Berikut ini merupakan Tabel 2.4 untuk menentukan faktor δ pada elektroda pentanahan paralel :

Tabel 2.4 Faktor δ elektroda paralel

Jumlah Elektroda	Faktor δ
2	1
3	1,66
4	2,15
5	2,54
6	2,87
7	3,15
8	3,39
9	3,61
10	3,81

2.2.4 Taksiran Resiko (*Risk Assessment*)

Taksiran resiko adalah metode untuk menentukan suatu kebutuhan akan proteksi pada bangunan terhadap kemungkinan kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran petir.

Perhitungan tersebut menjadi dasar untuk mempersiapkan sistem proteksi pada bangunan. Perhitungan kebutuhan akan sistem proteksi petir dapat menggunakan standar-standar yang telah ada yaitu Standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), *International Electrotechnical Commission* (IEC) 1024-1-1, dan NFPA 780.

1. Standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP)

Menurut standar PUIPP kebutuhan akan proteksi sambaran petir pada gedung dapat ditentukan dengan memperhitungkan indeks-indeks yang telah ditentukan menurut kondisi yang ada di gedung itu berdiri. Berdasarkan Peraturan Menteri (PERMEN) Tenaga Kerja nomor 02 tahun 1989 PER.02/MEN/1989, pasal 9 ayat 2 tentang pengawasan instalasi penyalur petir berikut ini adalah persamaan untuk menentukan *Risk Assessment*^[16] :

$$R = A+B+C+D+E.....(2.5)$$

Keterangan :

A = Bahaya menurut penggunaan dan isi gedung

B = Bahaya menurut konstruksi gedung

C = Bahaya menurut tinggi gedung

D = Bahaya menurut situasi gedung

E = Bahaya menurut hari guruh

Berikut ini merupakan Tabel 2.5 – 2.9 untuk menentukan indeks bahaya sambaran petir berdasarkan standar PUIPP (Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir) sebagai berikut:

Tabel 2.5 Macam Struktur Bangunan

Kegunaan dan isi	Indeks A
Bangunan tidak perlu di proteksi baik gedung ataupun isinya	-10
Objek jarang dipergunakan seperti gedung, menara, dsb	0
Bangunan yang berguna untuk kegiatan sehari-hari	1
Bangunan yang kegunaannya penting (Gedung pemerintah, dsb)	2

Kegunaan dan isi	Indeks A
Bangunan yang isinya terdapat banyak orang (sekolah, tempat ibadah, supermarket, hotel, dsb)	3
Bangunan yang sangat dibutuhkan dan berbahaya jika terbakar (Gardu induk, rumah sakit, POM bensin, dsb)	5
Bangunan berbahaya yang dapat meledak	15

Tabel 2.6 Konstruksi Bangunan

Konstruksi gedung	Indeks B
Seluruh bangunan terbuat dari logam (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, bangunan kayu dengan atap bukan logam	2
Bangunan kayu dengan atap bukan logam	3

Tabel 2.7 Tinggi Bangunan

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

Tabel 2.8 Situasi Bangunan

Lokasi gedung	Indeks D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai tiga perempat tinggi bukit atau dipegunungan sampai 1000 m	1
Di puncak gunung atau pegunungan lebih dari 1000 m	2

Tabel 2.9 Pengaruh Kilat

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

Dengan mengamati dan mencari data tentang keadaan suatu gedung yang ingin dipasang sistem proteksi petir eksternal maka tingkat resiko dapat ditentukan dengan menjumlahkan indeks-indeks diatas dan menentukan perkiraan bahaya sambaran petir dengan menggunakan Tabel 2.10 dibawah ini :

Tabel 2.10 Perkiraan bahaya (R)

$R = A+B+C+D+E$	Perkiraan Bahaya	Pengamanan
Dibawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
12	Sedang	Agak dianjurkan

R = A+B+C+D+E	Perkiraan Bahaya	Pengamanan
13	Agak besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari	Sangat Besar	Sangat perlu

2. Standar International Electrotechnical Commision (IEC) 1024-1-1^[34]

Tingkat proteksi petir dapat ditentukan dengan standar IEC 1024-1-1. Standar IEC 1024-1-1 memprioritaskan sistem proteksi sesuai dari frekuensi sambaran petir secara langsung setiap tahunnya. Perhitungan tingkat proteksi dapat ditentukan dengan memperhatikan beberapa faktor yaitu frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) dan juga frekuensi sambaran petir tahunan (N_c) yang ada pada bangunan yang akan diproteksi. Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata per tahun yang ada di area tempat bangunan berdiri dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut^[17] :

$$N_g = 0,04 \cdot T^{1,25} / km^2 / tahun \dots \dots \dots (2.6)$$

Semua daerah struktur bangunan yang dianggap memiliki frekuensi sambaran petir langsung tahunan disebut dengan area cakupan ekivalen (A_e). Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993. Untuk menentukan nilai A_e dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

A_e = area cakupan ekivalen dari objek bangunan (m^2)

a = panjang struktur bangunan (m)

b = lebar struktur bangunan (m)

h = tinggi struktur bangunan (m)

Hari guruh (T) didapatkan dari data yang dikeluarkan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang ada di daerah tempat objek yang akan diproteksi. Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 frekuensi sambaran petir langsung rata-rata tahunan (N_d) dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} / \text{tahun} \dots \dots \dots (2.8)$$

Pemasangan suatu sistem proteksi petir pada objek dapat ditentukan perlu ataupun tidaknya sistem tersebut dapat dicari dengan memperhitungkan N_d dan N_c yaitu, jika besar nilai N_d lebih kecil daripada N_c . Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993. Efisiensi sistem proteksi petir dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \dots \dots \dots (2.9)$$

Setelah didapatkan nilai efisiensi dengan menggunakan persamaan di atas, maka dapat ditentukan tingkat proteksi petir dengan Tabel 2.11 berikut :

Tabel 2.11 Tingkat proteksi dan efisiensi

Tingkat Proteksi	Efisiensi
I	0,98
II	0,95
III	0,9
IV	Kurang dari 0,8

3. Standar NFPA 780^[33]

Berdasarkan NFPA 780 *Standard for The Installation of Lightning Protection Systems* ISBN 978-145592352-6 suatu instalasi proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap bahaya sambaran petir untuk melindungi sebuah bangunan dari sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung. Berikut ini merupakan rumus untuk menghitung perkiraan bahaya sambaran petir (R) berdasarkan standar NFPA 780^[18] :

$$R = \frac{A+B+C+D+E}{F} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

R = Perkiraan bahaya sambaran petir

A = Jenis struktur

B = Jenis konstruksi

C = Lokasi Bangunan

D = Topografi

E = Penggunaan dan isi bangunan

F = Isokeraunik level

Menurut standar ini, perkiraan bahaya sambaran petir (R) ditentukan pada beberapa faktor perhitungan yaitu, Jenis Struktur (A), Jenis Konstruksi (B), Lokasi Bangunan (C), Topografi (D), Penggunaan dan Isi Bangunan (E), dan Isokeraunik Level (F). Berikut merupakan Tabel 2.12 – 2.18 untuk menentukan nilai indeks bahaya sambaran petir :

Tabel 2.12 Jenis struktur

Jenis struktur	Indeks A
Rumah kediaman kurang dari 465 m^2	1
Rumah kediaman lebih dari 465 m^2	2
Perumahan, kantor, atau pabrik tinggi kurang dari 15 m	3
Melingkupi area kurang dari 2323 m^2	
Melingkupi area lebih dari 2323 m^2	5
Perumahan, kantor, atau pabrik tinggi 15 - 23 m	4
Perumahan, kantor, atau pabrik tinggi 23 - 46 m	5
Perumahan, kantor, atau pabrik tinggi lebih dari 46 m	8
Kantor pelayanan pemerintah (pemadam kebakaran, kantor polisi, dan hangar pesawat	7
Pembangkit listrik, central telpon, menara air, cooling water, perpustakaan, dan bangunan bersejarah	8
Bangunan pertanian, tempat bernaung rekreasi, bangunan berisi banyak orang (sekolah dan tempat ibadah)	9
Struktur ramping dan tinggi (menara), Rumah sakit, dan penyimpanan bahan kimia berbahaya	10

Tabel 2.13 Jenis Konstruksi

Kerangka Struktur	Jenis Atap	Indeks B
Bukan Logam	Kayu	5
	Campuran Asphalt, ter/ genteng	3
	Logam yang tidak terhubung	4
	Logam terhubung secara elektrik	1
Kayu	Kayu	5
	Campuran Asphalt, ter/ genteng	3
	Logam yang tidak terhubung	4
	Logam terhubung secara elektrik	2
Beton Bertulang	Kayu	5
	Campuran Asphalt, ter/ genteng	3
	Logam yang tidak terhubung	4
	Logam terhubung secara elektrik	2
Kerangka Baja	Kayu	4
	Campuran Asphalt, ter/ genteng	3
	Logam yang tidak terhubung	3
	Logam terhubung secara elektrik	1

Tabel 2.14 Lokasi Bangunan

Lokasi Bangunan		Indeks C
Bangunan dalam area bangunan yang lebih tinggi	Bangunan kecil (area kurang dari 929)	1
	Bangunan besar (area lebih dari 929)	2
Bangunan dalam area bangunan yang lebih rendah	Bangunan kecil (area kurang dari 929)	4
	Bangunan besar (area lebih dari 929)	5
Struktur diperpanjang sampai 15,2 m diatas permukaan tanah		7
Struktur diperpanjang lebih diatas 15,2 m diatas permukaan tanah		10

Tabel 2.15 Topografi

Topografi	Indeks D
Pada tanah datar	1
Pada sisi bukit	2
Diatas puncak bukit	4
Diatas puncak	5

Tabel 2.16 Penggunaan dan isi bangunan

Penggunaan dan isi bangunan	Indeks E
Bahan tidak mudah terbakar	1
Perabotan rumah tangga	2
Perlengkapan dan perabotan biasa	2
Tempat peliharaan	3
Bangunan berisi sedikit orang (kurang dari 50)	4
Bahan yang mudah terbakar	5
Bangunan berisi banyak orang (lebih dari 50)	6
Peralatan atau barang berharga	7
Pelayan umum (damkar dan kantor polisi)	8
Gas atau cairan mudah meledak	8
Peralatan operasi sensitif	9
Benda bersejarah	10
Peledak dan bahan pembuatnya	10

Tabel 2.17 Isokeraunik level

Isokreraunik level	Indeks F
0 – 5	9
6 – 10	8
11 – 20	7
21 – 30	6

Isokreraunik level	Indeks F
31 – 40	5
41 – 50	4
51 – 60	3
61 – 70	2
Lebih dari 70	1

Tabel 2.18 Perkiraan bahaya petir menurut NFPA 780

R	Pengamanan
0 – 2	Tidak perlu
2 – 3	Dianjurkan
3 – 4	Dianjurkan
4 – 7	Sangat dianjurkan
Lebih dari 7	Sangat perlu

2.2.5 Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah adalah daya hambat tanah terhadap arus listrik semakin tinggi resistivitasnya maka semakin sulit arus untuk mengalir ke dalam tanah. Resistivitas tanah dapat berubah seiring dengan kedalaman elektroda ditanam, temperatur tanah, konsentrasi dari zat kimia yang terkandung dalam tanah, dan kelembaban tanah. Berdasarkan *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding* IEEE std 80-2000 resistivitas tanah dapat dihitung menggunakan persamaan berikut^[19] :

$$\rho_a = \frac{2\pi L_r R}{\ln\left(\frac{8L_r}{d}\right) - 1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana :

ρ_a = Resistivitas tanah ($\Omega.m$)

L_r = panjang elektroda (m)

d = diameter elektroda (m)

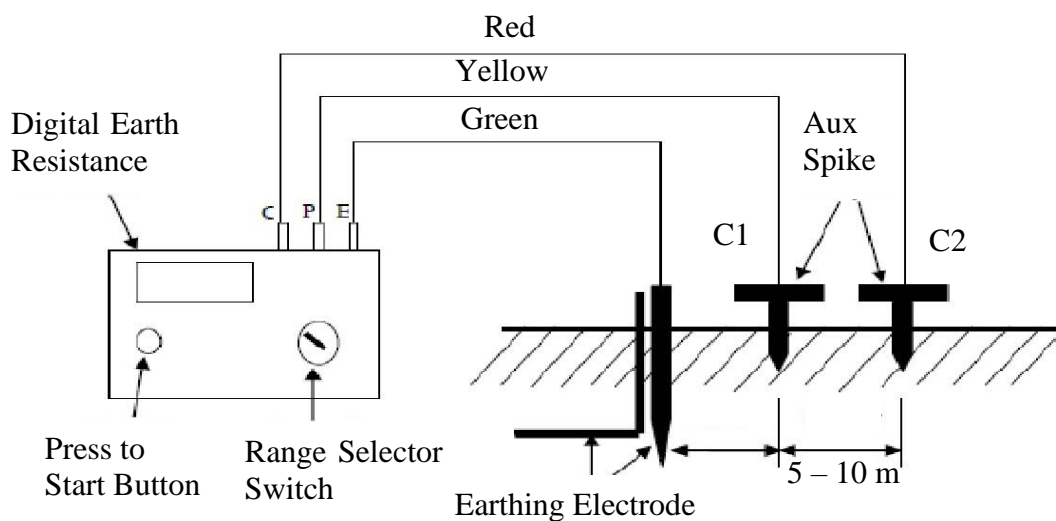
Berikut ini merupakan Tabel 2.19 untuk menentukan besarnya nilai resistivitas tanah berdasarkan jenis tanah sebagai berikut :

Tabel 2.19 Jenis-jenis tanah beserta resistivitasnya

Soil Type	Resistivity ($\Omega.m$)
Well-graded gravel	600 - 1000
Poorly-graded gravel	1000 - 2500
Clayey gravel	200 - 400
Silty sand	100 - 800
Clayey sands	50 - 200
Silty or clayey sand with slight plasticity	30 - 80
Fine sandy soil	80 - 300
gravelly clays	20 - 60
Inorganic clays of high plasticity	10 - 55

2.2.6 Metode Tiga Titik

Pengukuran sistem pentanahan dilakukan menggunakan metode tiga titik (*three-point methode*) dengan tujuan untuk mendapatkan nilai resistansi tanah. Pada Gambar 2.8 sering disebut sebagai *fall of potential* yaitu metode pengukuran resistansi pentanahan tiga titik. Pada metode ini *probe* kedua (C2) ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak sejauh d terhadap *probe* pertama (C1) yang dihubungkan dengan elektroda pentanahan sejauh 5 – 10 m dari *probe* pertama^[20].



Gambar 2.8 Metode Pengukuran Tiga Titik

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Museum Negeri Lampung dan mulai dilaksanakan pada bulan Februari 2023 dan akan diselesaikan bulan Oktober 2023. Pada Tabel 3.1 merupakan jadwal dan aktivitas dari penelitian. Penyusunan proposal penelitian yang dilakukan pada bulan Februari dan April. Pengambilan sampel data yang dilakukan pada bulan Mei – Juni. Perancangan sistem proteksi petir yang dilakukan pada bulan Juli – Agustus. Sementara untuk Analisa dan Pembahasan serta pelaporan dilakukan pada bulan Oktober.

Tabel 3.1 Jadwal dan Aktivitas

Aktivitas	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sept	Okt
Penyusunan Proposal Penelitian									
Pengambilan Sampel Data									
Perancangan Sistem proteksi petir dan gronding									
Analisa dan Pembahasan									
Pelaporan									

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi Intel Core i5, processor 1,6 GHz, RAM 8 GB, dan sistem operasi Windows 11 Home Single Language
2. Software Autocad sebagai program untuk mendesain sistem proteksi petir eksternal
3. Software Sketchup untuk membuat gambar 3D Gedung Museum Negeri Lampung
4. *Earth Tester* untuk mengukur data eksisting tahanan pentanahan pada Gedung Museum Negeri Lampung

3.3 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini sebagai berikut :

a. Studi Literatur

Pada tahap ini proses yang dilakukan adalah menghimpun informasi dari berbagai literatur baik yang bersumber dari jurnal penelitian, buku, karya tulis ilmiah, maupun artikel di internet

b. Studi Bimbingan

Dalam tahap ini kegiatan yang dilakukan adalah pendalaman materi dan melakukan diskusi bersama pembimbing, serta mencari solusi dari permasalahan mengenai topik penelitian yang dilakukan

c. Pengumpulan Data

Pada tahap ini penulis menghimpun data yang dibutuhkan dalam penelitian, data tersebut meliputi panjang, lebar, tinggi, dan luas bangunan untuk digunakan dalam mendesain Sistem Proteksi Petir Eksternal serta data eksisting resistansi tanah Gedung Museum Negeri Lampung

d. Desain Sistem Proteksi Petir

Pada tahap ini dilakukan pengukuran dan perhitungan pada daerah gedung untuk menentukan pemasangan batang finial serta jarak antar batang finial pada Sistem Proteksi Petir Eksternal gedung tersebut

e. Desain Sistem Pentanahan

Pada tahap ini dilakukan pengukuran data eksisting pentanahan dan perhitungan pada daerah gedung untuk menentukan pemasangan elektroda pentanahan paralel

f. Analisis

Merekomendasikan Sistem Proteksi Petir serta Sistem Pentanahan pada Gedung Museum Lampung

3.4 Metode Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem proteksi petir eksternal adalah suatu instalasi dan alat-alat di luar struktur bangunan untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan. Sistem proteksi petir eksternal yang sering digunakan terdiri dari tiga bagian, yaitu

batang finial, *down conductor*, dan elektroda pentanahan. Penelitian ini mendesain sistem proteksi petir eksternal pada Gedung Museum Lampung. Berdasarkan SNI 03-7015-2004 ICS 91.120.40 untuk melakukan *risk assesment* dengan menggunakan persamaan 2.5 sebagai berikut :

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

Penelitian ini menggunakan Metode Bola Bergulir untuk mendesain sistem proteksi petir eksternal dengan komponen komponen sebagai berikut :

a. Batang Finial

Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 untuk menentukan kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata per tahun yang ada di area bangunan berdiri dapat menggunakan persamaan 2.6 sebagai berikut :

$$N_g = 0,04 \cdot T^{1,25} / km^2 / \text{tahun}$$

Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 untuk menentukan area proteksi sambaran petir dengan menggunakan persamaan 2.7 sebagai berikut :

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

Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 untuk menentukan frekuensi sambaran petir secara langsung per tahun (N_d) dengan menggunakan persamaan 2.8 sebagai berikut :

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

Berdasarkan IEC 1024-1-1 *Protection of Structures Against Lightning* IEC 1024-1-1:1993 untuk menentukan efisiensi sistem proteksi petir eksternal menggunakan persamaan 2.9 sebagai berikut :

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

Untuk menentukan tingkat proteksinya menggunakan Tabel 2.10 sebagai berikut :

Tabel 2.10 Tingkat proteksi petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi
I	0,98
II	0,95
III	0,9
IV	Kurang dari 0,8

b. Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan atau sistem terminasi bumi yaitu bagian dari sistem proteksi petir eksternal yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Sistem pentanahan yang digunakan adalah model *driven rod*. Berdasarkan *practical, grounding, bonding, shielding, and surge protection* ISBN 0750663995 untuk menentukan nilai resistansi tanah dapat menggunakan persamaan 2.2 sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \left(\frac{8l}{d} \right) - 1 \right)$$

Dimana :

ρ = Resistivitas tanah

l = Kedalaman batang elektroda

d = diameter batang elektroda

Berdasarkan *British Standard Code of Practice for Earthing* BS 7430:1998 untuk memperkecil resistansi tanah pada elektroda dilakukan penanaman elektroda paralel dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 sebagai berikut :

$$R_n = \frac{1 + \delta a}{n}$$

$$a = \frac{\rho}{2\pi R_s}$$

Dimana :

R_n = Resistansi paralel

s = Jarak antara elektroda

n = Jumlah elektroda batang

δ = Faktor yang diberikan pada Tabel 2.4

ρ = Resistivitas tanah

3.5 Prosedur menentukan jari jari bola bergulir

Metode Bola Bergulir digunakan untuk bangunan yang berbentuk rumit. Dengan metode ini seperti ada suatu bola dengan radius R yang bergulir diatas tanah mengelilingi sktruktur ke semua arah sehingga bertemu dengan tanah. Berdasarkan IEC 62305-1 *International Standard* ICS 29.020 untuk menentukan nilai radius bola bergulir dapat menggunakan persamaan 2.1 sebagai berikut :

$$R = 10I^{0,65}$$

Dimana :

R = Radius bola bergulir (m)

I = Besar Arus petir (kA)

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 ICS 91.120.40 berikut ini merupakan Tabel 2.1 untuk menentukan radius bola bergulir berdasarkan tingkat proteksi (*Lightning Protection Level*) yang didapat dari hasil perhitungan nilai efisiensi sistem proteksi petir :

Tabel 2.1 Penempatan terminasi udara sesuai dengan tingkat proteksi

Interception criteria			LPL (<i>Lightning Protection Level</i>)			
	Symbol	Unit	I	II	III	IV
Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	r	m	20	30	45	60

3.6 Prosedur Menentukan Sudut Proteksi

Metode Sudut Proteksi sangat cocok digunakan untuk bangunan yang tinggi. Metode ini membentuk sebuah kerucut yang memiliki nilai sudut. Berdasarkan *A Guide to BS EN 62305 Protection Against Lightning Q06054* berikut ini adalah Tabel 2.2 untuk menentukan besarnya sudut proteksi pada Gedung Museum Lampung :

Tabel 2.2 Penentuan sudut proteksi petir berdasarkan tingkat proteksi

Height of air rod above reference plane (m)	LPS Class IV		LPS Class III		LPS Class II		LPS Class I	
	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)
1	78.7	5.0	76.3	4.1	73.2	3.3	70.0	2.7
2	78.7	10.0	76.3	8.2	73.2	6.6	70.0	5.5
3	76.7	12.7	74.1	10.5	70.1	8.3	66.3	6.8
4	74.7	14.6	72.0	12.3	67.1	9.5	62.6	7.7
5	72.8	16.1	69.9	13.6	64.4	10.4	59.1	8.4
6	71.0	17.4	67.9	14.8	62.0	11.3	55.9	8.9
7	69.3	18.5	66.0	15.7	59.7	12.0	53.0	9.3
8	67.7	19.5	64.3	16.6	57.6	12.6	50.2	9.6
9	66.2	20.4	62.6	17.4	55.6	13.2	47.7	9.9
10	64.7	21.2	61.1	18.1	53.8	13.6	45.2	10.1
11	63.4	21.9	59.6	18.7	52.0	14.1	42.8	10.2
12	62.1	22.6	58.2	19.3	50.3	14.4	40.4	10.2
13	60.8	23.3	56.8	19.8	48.6	14.8	38.1	10.2
14	59.6	23.9	55.4	20.3	47.0	15.0	35.8	10.1
15	58.4	24.4	54.1	20.7	45.4	15.2	33.6	10.0
16	57.3	24.9	52.8	21.1	43.8	15.3	31.4	9.8
17	56.2	25.4	51.5	21.4	42.3	15.4	29.2	9.5
18	55.2	25.9	50.3	21.7	40.6	15.4	27.1	9.2
19	54.2	26.3	49.1	21.9	39.2	15.5	24.9	8.8
20	53.2	26.7	47.9	22.1	37.7	15.5	22.8	8.4
21	52.3	27.1	46.6	22.2	36.3	15.4		
22	51.3	27.5	45.5	22.4	34.8	15.3		
23	50.5	27.9	44.3	22.4	33.4	15.1		
24	49.6	28.2	43.1	22.5	31.9	15.0		
25	48.8	28.5	42.0	22.5	30.5	14.7		
26	48.0	28.8	40.9	22.5	29.0	14.4		

Height of air rod above reference plane (m)	LPS Class IV		LPS Class III		LPS Class II		LPS Class I	
	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)	Angle (deg)	Radius (m)
27	47.2	29.1	39.8	22.5	27.5	14.0		
28	46.4	29.4	38.7	22.5	25.9	13.6		
29	45.6	29.6	37.7	22.4	24.4	13.1		
30	44.8	29.8	36.7	22.3	22.8	12.6		
31	44.1	30.0	35.7	22.3				
32	43.3	30.2	34.7	22.1				
33	42.6	30.3	33.7	22.0				
34	41.8	30.4	32.8	21.9				
35	41.1	30.5	31.8	21.7				
36	40.3	30.6	30.9	21.5				
37	39.6	30.6	29.9	21.3				
38	38.8	30.6	29.0	21.1				
39	38.1	30.6	28.1	20.8				
40	37.3	30.5	27.2	20.5				
41	36.6	30.4	26.2	20.2				
42	35.9	30.3	25.3	19.9				
43	35.1	30.2	24.4	19.5				
44	34.4	30.1	23.5	19.2				
45	33.6	29.9	23.5	19.6				
46	32.9	29.8						
47	32.2	29.6						
48	31.5	29.4						
49	30.7	29.1						
50	30.0	28.9						
51	29.3	28.6						
52	28.5	28.3						
53	27.8	28.0						
54	27.1	27.6						
55	26.4	27.3						
56	25.7	26.9						
57	24.9	26.5						
58	24.2	26.1						
59	23.5	25.7						
60	22.8	25.2						

3.7 Prosedur Mengukur Resistansi Pentanahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 3.2 sebagai berikut :

Tabel 3.2 Alat dan Bahan


No	Alat	Jumlah	Unit
1	Earth Tester Kyoritsu 4105 A	1	Unit
2	Elektroda Bantu	2	Unit
3	Kabel pengukuran (Merah)	10	Meter
4	Kabel pengukuran (kuning)	10	Meter
5	Kabel pengukuran (Hijau)	10	Meter
6	Palu/ Martil	1	Unit
7	Meteran	1	Unit

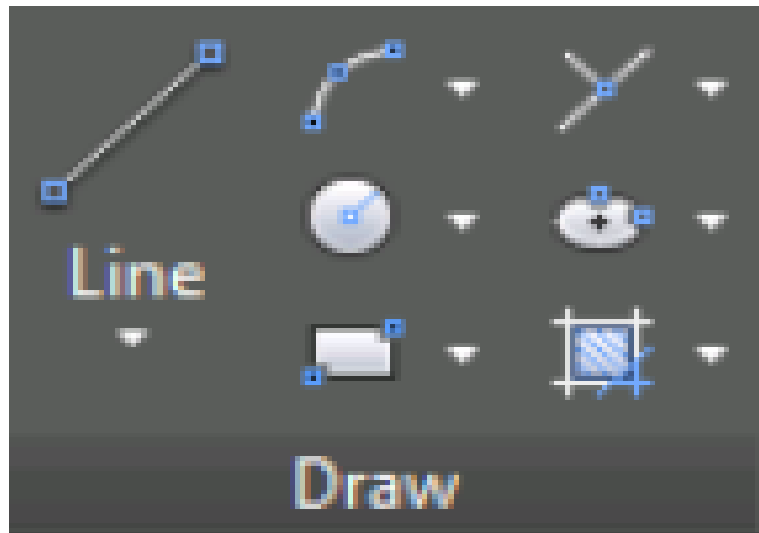
Langkah-langkah dalam melakukan pengukuran sebagai berikut :

1. Mempersiapkan peralatan yang akan digunakan dalam pengukuran resistansi pentanahan
2. Mengatur jarak antara elektroda pentanahan dengan elektroda bantu, jarak yang digunakan berkisar 5 – 10 meter
3. Memeriksa kondisi kabel grounding BC yang akan diukur
4. Menanamkan elektroda bantu 1 dan 2 pada jarak 5 meter ke tanah pada kedalaman sekitar 30 cm lalu elektroda dihubungkan dengan alat ukur menggunakan kabel yang sudah ditentukan
5. melakukan pengukuran tahanan pentanahan dengan memutar test function pada *earth tester*
6. Menekan tombol press to test untuk mengunci nilai tahanan pentanahan pada *earth tester*
7. Mencatat nilai tahanan yang muncul pada layar *earth tester meter*. Kemudian memutar test function ke tombol off pada alat ukur
8. Lakukan hal yang sama pada jarak 6 – 10 meter

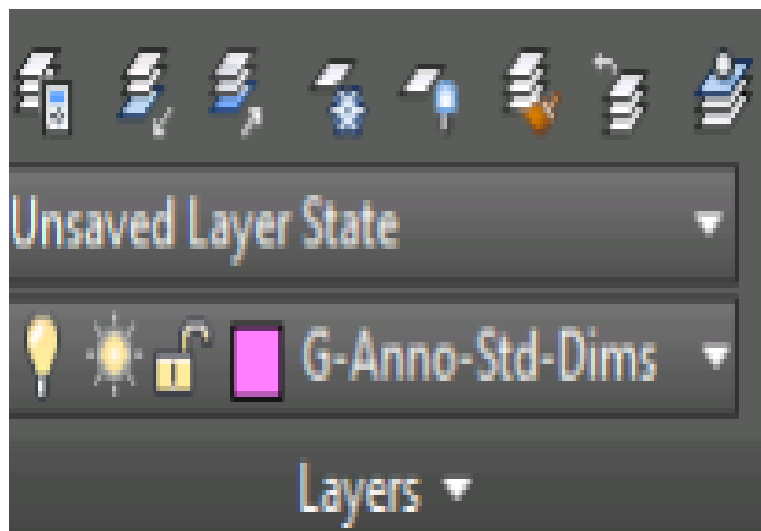
3.8 Desain Sistem Proteksi Petir Eksternal dengan Autocad

Adapun langkah-langkah membuat desain metode bola bergilir dengan Autocad sebagai berikut :

1. Membuat file baru pada Autocad dengan memilih ikon *new*  pada Autocad
2. Membuat desain bangunan gedung dengan cara memilih ikon *line* pada menu *Draw* seperti pada Gambar 3.1 dan mengatur warna pada menu *Layers* seperti pada gambar 3.2

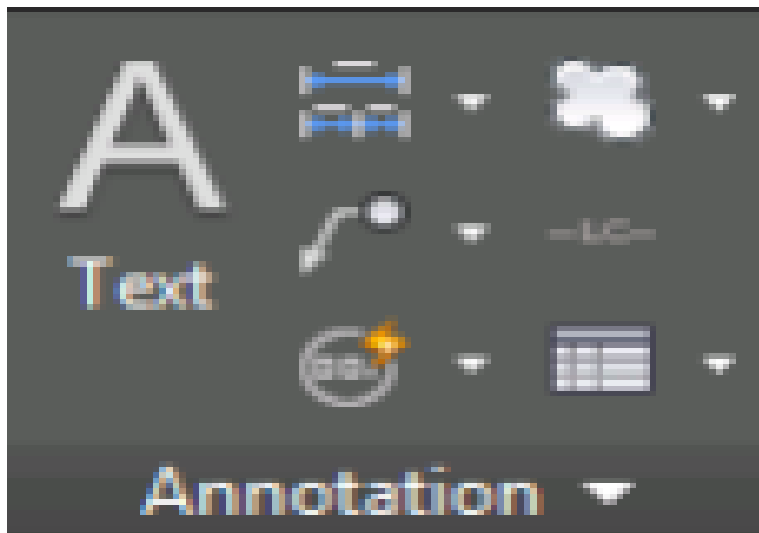


Gambar 3.1 Tampilan Menu *draw*




Gambar 3.2 Tampilan menu *layers*

3. Membuat gambar bola dengan cara memilih ikon *circle* pada menu *Draw* seperti pada gambar 3.1 dan mengatur warna pada menu *layers* seperti pada gambar 3.2
4. Membuat gambar penangkal petir dengan memilih ikon *line* pada menu *Draw* seperti pada gambar 3.1 dan mengatur warna pada menu *layers* seperti pada gambar 3.2
5. Mendesain sistem proteksi petir dengan Metode Bola Bergulir dan Metode Sudut Proteksi
6. Membuat keterangan gambar dengan cara memilih ikon *text* pada menu *Annotation* seperti pada gambar 3.3



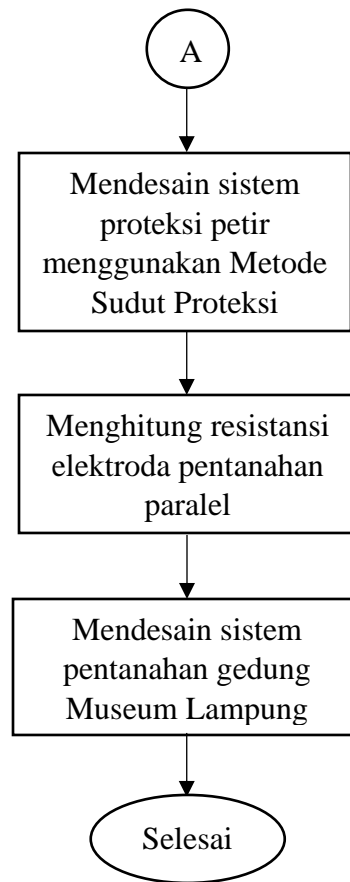
Gambar 3.3 Tampilan menu *Annotation*

7. Menyimpan desain yang telah dibuat dengan memilih ikon save  di Autocad

3.9 Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram penelitian yang dilakukan sebagai berikut :





V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini :

1. Kondisi lokasi geografis Gedung Museum Negeri Lampung yang berada di Bandar Lampung dengan hari guruh berdasarkan data BMKG sebesar 112 per tahun. Analisis sistem proteksi petir pada Museum Lampung dengan memperhitungkan struktur bangunan, konstruksi bangunan, tinggi bangunan, situasi bangunan, dan hari guruh per tahun didapatkan nilai tingkat proteksi berada pada tingkat I artinya pada Museum Lampung harus dipasang sistem proteksi petir eksternal.
2. Analisis perancangan sistem proteksi petir eksternal menggunakan dua metode yakni Metode Bola Bergulir dan Metode Sudut Proteksi. Pada Gedung Museum Lampung Metode Bola Bergulir lebih efisien dibanding Metode Sudut Proteksi karena pada Metode Bola Bergulir menggunakan 5 batang finial dengan panjang finial sebesar 1 m sedangkan pada Metode Sudut Proteksi menggunakan 13 batang finial dengan panjang finial sebesar 1,5 m.
3. Sistem pentanahan yang digunakan pada Gedung Museum Lampung menggunakan empat elektroda batang dengan panjang elektroda 12 meter yang dipasang paralel dengan jarak antar elektroda sebesar 5 meter. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa resistansi tanah yang didapat sebesar $4,79 \Omega$.

5.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini :

1. Perancangan sistem proteksi petir eksternal pada bangunan Gedung Museum Lampung dapat juga dilakukan dengan menggunakan Metode Mata Jala atau Metode Zona Proteksi Razevig
2. Untuk memperoleh tahanan pentanahan yang kecil dibutuhkan resistivitas tanah yang kecil dengan cara melakukan *soil treatment*. *Soil treatment* dilakukan dengan melakukan penambahan kandungan zat adiktif di sekitar area penanaman elektroda sehingga tanah menjadi lembab dan dapat memperkecil resistivitas tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hosea, Emmy, Penerapan Metode Jala, Sudut Proteksi dan Bola Bergulir Pada Sistem Proteksi Petir Eksternal yang Diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2004.
- [2] Zoro, Reynaldo, External Lightning Protection System for Main Office Building in the Area with High Lightning Density, Bandung : Procedia Technology, 2013.
- [3] Pratama, Rendi Bagus, Analisis Siste Proteksi Petir Eksternal pada Pabrik 1 PT Petrokimia Gresik, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [4] Singhasathein, Arnon, The Design and Simulation of the External Lightning Protection for Tall Building According to IEC 62305, Bangkok : Rajamangala University of Technology Phranakhon, 2019
- [5] Aprillia, Happy, Metode Bola Bergulir Untuk Analisis Perancangan Sistem Proteksi Petir Gedung Perkuliahan Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan : Institut Teknologi Kalimantan, 2022.
- [6] Medika, Aditya Surya, Perencanaan Sistem Penyalur Petir Eksternal pada Gedung SMK Sultan Agung 1 Tebuireng Jombang, Surabaya : Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, 2023
- [7] Negara, I Made Yulistya, Investigation and Improvement of Standard External Lightning Protection System : Industrial Case Study, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.
- [8] IEC, International Standard Protection Against Lightning IEC 62305-1, Ganeva : Code Prix, 2010.
- [9] Panitia Teknik 21S, Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung, Jakarta : BSN, 2004.
- [10] Furse, A Guide to BS EN 62305 Protection Against Lightning, London : Thomas&Betts, 2006
- [11] Zimackis, Viesturs, Advancements in Building Lightning Protection Zone Estimation, Riga : Riga Technical University, 2015.
- [12] Switzer, W. Keith, Practical Guide to Electrical Grounding, 1st ed. Ohio : Erico, 1999.

- [13] Sinchi-Sinchi, Freddy, Soil Treatment to Reduce Grounding Resistance by Applying Low-Resistivity Material (LRM) Implemented in Different Grounding Systems Configurations and in Soils with Different Resistivities, Ecuador : MDPI, 2022.
- [14] Vijayaraghavan, G, Practical Grounding, Bonding, Shielding, and Surge Protection, Burlington : Elsevier, 2004
- [15] BSI, Code of Practice for Earthing, London : British Standard Institution, 1999
- [16] Batubara, Cosmas, Pengawasan Instalasi Penyalur Petir, Jakarta : Kementerian Tenaga Kerja, 1989.
- [17] Sulsse, Geneve, International Standard IEC 1024-1-1 Protection of Structures Against Lightning, Ganeva : Global Engineering Documents, 1993.
- [18] Porter, Christine T, NFPA 780 Standard for The Installation of Lightning Protection Systems, Massachusetts : American National Standard, 2020.
- [19] Keil, P Richard, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, New York : IEEE, 2000.
- [20] Widyaningsih, Wiwik Purwati, Metode Penurunan Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Plat Dengan Soil Treatment Garam, Semarang : Politeknik Negeri Semarang, 2016.
- [21] Tang, Hongke, Study on Lightning Early Warning Information in the Application of Lightning Risk Assessment, China : IEEE, 2014.
- [22] Zipse, Donald W, Lightning Protection Systems : Advantages and Disadvantages, USA : IEEE, 1994.
- [23] Azka, Andre Budiman. Desain Sistem Proteksi Petir PLTS Off Grid Pada Gedung Pasca Sarjana Universitas Lampung, Bandar Lampung : Universitas Lampung, 2018.
- [24] Galvan, Arturo, A Technical Basis for Guidance of Lightning Protection for Offshore Oil Installations, Mexico : JOLR, 2007.
- [25] Christian, Dennis Messelinus, Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Pabrik PT Pupuk Sriwijaya, Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.

- [26] Rani, Dewi, Pemrograman Desain Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Bertingkat Berbasis Java, Bandar Lampung : Universitas Lampung, 2019.
- [27] Benndik, Josef, Experimental Verification of Material Coefficient Defining Separation Distance for External Lightning Protection System, Slovakia : Slovak University of Technology, 2019.
- [28] Foya, Ufuk Candar, Protection of Structures Against Lightning, Ancara : Middle East Technical University, 2004.
- [29] Hudha, Alif Nur, Perencanaan Sistem Proteksi Petir Tipe Elektrostatis Pada SMA Negeri 1 Tuntang, Semarang : Universitas Islam Sultan Agung, 2022.
- [30] Mulyadi, Ujang, Kajian Perancangan Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Pusat Komputer Universitas Riau, Pekanbaru : Universitas Riau, 2014.
- [31] Nadeak, Ckristopen M, Analisis Penangkal Petir Pada Peralatan Antena Radar di Kantor Airnav Indonesia Cabang Pembantu Pangkalan Bun, Banjarmasin : Universitas Islam Kalimantan, 2020.
- [32] Hidayat, Arif, Safe Zone Analysis of Lightning Protection System in Antenna Using Radome, Depok : Universitas Indonesia, 2019.
- [33] Ioannidis, Alexios I, Lightning Protection of Historical Buildings and Cultural Heritage Monuments : A Literature Review, Grikenlan : University of Thessaloniki, 2022.
- [34] IEC, International Standard IEC 62305-2 Protection of Against Lightning, Ganeva : Code Prix, 2006