

SKRIPSI

**STUDI EVALUASI SISTEM PENANGKAP PETIR EKSTERNAL PADA
GEDUNG DEPARTEMEN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. RYAN RIZQULLAH IRHAB

D041 20 1133



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**STUDI EVALUASI SISTEM PENANGKAP PETIR EKSTERNAL PADA
GEDUNG DEPARTEMEN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS
HASANUDDIN**

Disusun dan diajukan oleh

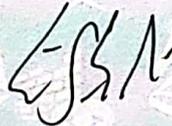
Muh. Ryan Rizqullah Irhab

D041 20 1133

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 13 November 2024
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Ir. Ikhlas Kitta, S.T., M.T.,

NIP. 197405301999031003

Ketua Program Studi,



Prof. Dr.-Ing. Ir. Faizal Arya Samman, ST, MT, IPU, AseanEng, ACPE

NIP. 197506052002121004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh. Ryan Rizqullah Irhab

NIM : D041201133

Program Studi : Teknik Elektro

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

STUDI EVALUASI SISTEM PENANGKAP PETIR EKSTERNAL PADA GEDUNG DEPARTEMEN FAKULTAS TENIK UNIVERSITAS HASANUDDIN

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala risiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 November 2024

Yang Menyatakan


Muh. Ryan Rizqullah Irhab

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur tiada henti penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala pertolongan, rahmat, dan kasih sayang-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ Studi Evaluasi Sistem Penangkap Petir Eksternal Pada Gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin”. Tak lupa juga penulis hanturkan shalawat dan salam kepada panutan Rasulullah SAW. yang senantiasa menjadi sumber inspirasi dan teladan terbaik kepada umat manusia.

Penyusunan tugas akhir ini ditunjukan untuk memenuhi salah satu syarat akademik dalam memperoleh Gelar Sarjana pada Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanudidn.

Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan, sehingga berbagai kesulitan yang dihadapi dapat teratasi. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya serta mendoakan agar Allah SWT memberikan balasan terbaik kepada:

1. Kedua Orang tua saya Ayah Hasbar Hamid, Ibu Indriana Azis dan adik-adik saya Salsabila Putiana Hasbar, Sasta Khaerani Hasbar, dan Muh. Rafa Alfarabi Hasbar, yang selalu memberikan dukungan, kasih sayang, motivasi, nasihat serta dukungan baik secara moral maupun finansial. Juga mendo'akan penulis agar selalu diberi kemudahan dalam menyelesaikan segala urusan
2. Bapak Dr. Ikhlas Kitta, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktunya unutk membimbing, memberikan masukan, dukungan serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Salama Manjang, M.T., IPM dan Ibu Dr. Ir. Sri Mawar Said, M.T. selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan saran, koreksi, dan arahan dalam penyelesaian tugas akhir penulis

4. Seluruh dosen pengajar dan pegawai Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin atas bimbingan, didikan, kemudahan, dan bantuan yang telah diberikan selama menempuh perkuliahan di Universitas Hasanuddin.
5. Adapun Azatil ismah yang telah menemani penulis dan mendengar keluh kesah dari awal perkuliahan sampai pengerjaan tugas akhir.
6. Teman-Teman PENSI NONGKI yang telah menghibur penulis dari masa SMA hingga perkuliahan
7. Keluarga Lab. Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur ketenagalistrikan yang mendukung penulis dan menjadi tempat belajar selama pengerjaan tugas akhir
8. Seluruh rekan-rekan hebat PROCEZ20R yang telah menemani penulis dalam berjuang menempuh perkuliahan sejak awal dan selalu ada sebagai wadah untuk berbagi wawasan, cerita, canda, dan tawa. Terima kasih telah hadir dalam perjalanan hidup penulis sebagai rekan kuliah yang memberikan warna dan makna di masa-masa perkuliahan. Seluruh tantangan yang tidak mudah kita alami bersama. Namun, kita kirimkan pesan pada semua, bahwa kebersamaan mempersatukan kita yang menjadikan tantangan bukan halangan. Semoga dimanapun kalian berada dan apapun yang dicita-citakan selalu diberikan kemudahan dan kesuksesan, serta selalu menginspirasi yang lain bahwa kebersamaan tidak akan pandang umur, waktu, dan jarak.

ABSTRAK

MUH. RYAN RIZQULLAH IRHAB. *Studi evaluasi sistem Penangkap petir eksternal pada gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (dibimbing oleh Ikhlas Kitta)*

Indonesia yang beriklim tropis memiliki intensitas sambaran petir yang tinggi. Gedung-gedung di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, yang terletak di daerah dengan intensitas petir yang signifikan, memerlukan perlindungan petir yang memadai untuk menjaga keselamatan dan keutuhan bangunan.. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kebutuhan sistem penangkap petir eksternal, tingkat proteksi, jarak sambaran petir, dan nilai resistansi pentanahan pada gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, guna memastikan sistem proteksi yang efektif. Pengukuran dilakukan dengan metode bola bergulir untuk menghitung jarak sambaran dan radius perlindungan petir. Pengukuran resistansi pentanahan dilakukan menggunakan alat Earth Tester. Evaluasi dilakukan berdasarkan standar PUIPP dan SNI 03-7015-2004, dengan mempertimbangkan data hari guruh di Kabupaten Gowa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelima gedung yang dievaluasi memiliki indeks bahaya $R = 16$ berdasarkan PUIPP, yang mengindikasikan kebutuhan proteksi petir tingkat II dengan efisiensi lebih dari 90% berdasarkan SNI 03-7015-2004. Terdapat satu unit sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatik, pada masing-masing unit yang sudah melindungi semua gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, konduktor penyalur menggunakan kabel Koaksial $2 \times 35 \text{ mm}^2$, nilai hasil pengukuran tahanan pentanahan area proteksi telah memenuhi standar PUIPP yaitu $\leq 5 \Omega$.

Kata kunci: proteksi petir, sistem penangkap petir eksternal, metode bola bergulir, resistansi pentanahan, PUIPP, SNI 03-7015-2004, Universitas Hasanuddin

ABSTRAC

MUH. RYAN RIZQULLAH IRHAB. *Evaluation Study of the External Lightning Protection System on the Buildings of the Faculty of Engineering Departments at Hasanuddin University (supervised by Ikhlas Kitta)*

Tropical Indonesia has a high intensity of lightning strikes. The buildings at the Faculty of Engineering, Hasanuddin University, which are located in areas with significant lightning intensity, require adequate lightning protection to maintain the safety and integrity of the buildings. This study aims to evaluate the need for an external lightning arrestor system, protection level, lightning strike distance, and grounding resistance value at the Department building of the Faculty of Engineering, Hasanuddin University, in order to ensure an effective protection system. Measurements are made with the rolling ball method to calculate the strike distance and lightning protection radius. The grounding resistance measurement is carried out using the Earth Tester tool. The evaluation was carried out based on PUIPP standards and SNI 03-7015-2004, taking into account data on thunder days in Gowa Regency. The results showed that the five buildings evaluated have a hazard index of $R = 16$ based on PUIPP, which indicates the need for level II lightning protection with an efficiency of more than 90% based on SNI 03-7015-2004. There is one unit of electrostatic type external lightning protection system, in each unit that has protected all buildings of the Department of Faculty of Engineering, Hasanuddin University, the channeling conductor uses $2 \times 35 \text{ mm}^2$ Coaxial cable, the value of the grounding resistance measurement results of the protection area has met PUIPP standards, namely $\leq 5 \Omega$.

Keywords: *lightning protection, external lightning protection system, rolling sphere method, grounding resistance, PUIPP, SNI 03-7015-2004, Hasanuddin University*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN	i
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
ABSTRAC	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Fenomena Petir	5
2.2 Mekanisme Induksi Petir	6
2.3 Bahaya Sambaran Petir	8
2.4 Taksiran Resiko Kerusakan	11
2.4.1 Standar dan Aturan Besarnya Kebutuhan Sistem Penangkap Petir pada Gedung	11
2.4.2 Frekuensi Sambaran Petir	15
2.4.3 Level Proteksi Petir	16
2.5 Sistem Penangkap Petir Eksternal	17

2.5.1 Terminasi Udara (<i>Air Terminal</i>).....	17
2.5.2 Konduktor penyalur arus petir (<i>Down conductor</i>).....	21
2.5.3 Sistem Pentanahan	23
2.6 Jenis-jenis Penangkap Petir	27
2.6.1 Penangkap Petir Sangkar faraday	27
2.6.2 Penangkap Petir Elektrostatik	28
2.7 Penelitian yang Relevan	29
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	36
3.2 Alat dan Bahan	37
3.3 Metode Pengambilan Data	37
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Data Penelitian.....	39
4.1.1 Data Hari Guruh Kabupaten Gowa.....	39
4.1.2 Deskripsi Gedung	40
4.2 Penentuan kebutuhan sistem Penangkap petir berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penangkap Petir (PUIPP).....	41
4.3 Penentuan Kebutuhan Proteksi Petir berdasarkan standar SNI 03-7015-2004	41
4.3.1 Kebutuhan Proteksi Gedung Departemen Sipil	42
4.3.2 Kebutuhan Proteksi Gedung Departemen Perkapalan.....	42
4.3.3 Kebutuhan Proteksi Gedung Departemen Elektro.....	43
4.3.4 Kebutuhan Proteksi Gedung Departemen Arsitektur	44
4.3.5 Kebutuhan Proteksi Gedung Departemen Geologi.....	45
4.4 Perhitungan jarak radius sambar petir dan radius daerah perlindungan.	46

4.4.1 Gedung Departemen Sipil.....	46
4.4.2 Gedung Departemen Perkapalan	47
4.4.3 Gedung Departemen Elektro	47
4.4.4 Gedung Departemen Arsitektur	48
4.4.5 Gedung Departemen Geologi	48
4.5 Radius proteksi Penangkap petir	50
4.6 Konduktor Penyalur Arus Petir (<i>Down conductor</i>).....	51
4.6.1 Konduktor Penyalur Arus Petir Gedung Departemen Sipil.....	51
4.6.2 Konduktor Penyalur Arus Petir Gedung Departemen Perkapalan.....	52
4.6.3 Konduktor Penyalur Arus Petir Gedung Departemen Elektro.....	54
4.6.4 Konduktor Penyalur Arus Petir Gedung Departemen Arsitektur	56
4.6.5 Konduktor Penyalur Arus Petir Gedung Departemen Geologi	57
4.7 Sistem Pentanahan (<i>Grounding</i>).....	59
4.7.1 Sistem Pentanahan Gedung Departemen Sipil	59
4.7.2 Sistem Pentanahan Gedung Departemen Perkapalan	59
4.7.3 Sistem Pentanahan Gedung Departemen Elektro	60
4.7.4 Sistem Pentanahan Gedung Departemen Arsitektur.....	60
4.7.5 Sistem Pentanahan Gedung Departemen Geologi.....	60
4.7.6 Hasil pengukuran tahanan pentanahan (<i>Grounding</i>)	61
4.8 Hasil Data Evaluasi	61
4.8.1 Hasil Penelitian Sistem Penangkap Petir Gedung Departemen Sipil .	61
4.8.2 Hasil Penelitian Sistem Penangkap Petir Gedung Departemen Perkapalan.....	63
4.8.3 Hasil Penelitian Sistem Penangkap Petir Gedung Elektro	65
4.8.4 Hasil Penelitian Sistem Penangkap Petir Gedung Arsitektur	66
4.8.5 Hasil Penelitian Sistem Penangkap Petir Gedung Geologi	68

BAB V PENUTUP.....	70
5.1 Kesimpulann.....	70
5.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72
LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta sambaran petir (BMKG)	1
Gambar 2. Proses terjadinya petir (Sekti, 2015)	6
Gambar 3. Mekanisme kopling resistif (Lasut, 2010)	7
Gambar 4. Mekanisme kopling induktif (Lasut, 2010).	8
Gambar 5. Sambaran petir terhadap manusia (Lasut, 2010).	9
Gambar 6. Pengaplikasian metode bola bergulir	19
Gambar 7. Area perlindungan penangkap petir aktif (Noviana & Karim.,2022)	19
Gambar 8. Elektroda batang ditanam tegak lurus (Zulhajji, dkk., 2022).	25
Gambar 9. Dua batang elektroda ditanam sejajar dalam tanah (Zulhajji, dkk., 2022).	26
Gambar 10. Penangkap petir jenis sangkar faraday	28
Gambar 11. Tombak Penangkap petir elektrostatik	28
Gambar 12. Radius Proteksi Penangkap petir	50

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Indeks A: Bahaya Berdasarkan Jenis Bangunan	11
Tabel 2 Indeks B : Bahaya Berdasarkan Konstruksi Bangunan.....	12
Tabel 3 Indeks C: Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan.....	13
Tabel 4 Indeks D: Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan	13
Tabel 5 Indeks E: Bahaya Berdasarkan Pengaruh Hari Guruh	14
Tabel 6 Indeks R: Perkiraan Bahaya Sambaran Petir.....	14
Tabel 7 Efisiensi sistem penangkap petir	17
Tabel 8. Kaitan Parameter Arus Petir dengan Tingkat Proteksi.....	20
Tabel 9. Nilai resistivitas pada suatu bahan	21
Tabel 10. Karakteristik Tanah	24
Tabel 11. Penelitian Relevan.....	29
Tabel 12 <i>Time Schedule</i>	36
Tabel 13 Jumlah hari guruh.....	39
Tabel 14 Data dimensi gedung.....	40
Tabel 15 Taksiran Resiko Gedung	41
Tabel 16. Nilai Impedansi Konduktor Penyalur Gedung Sipil	52
Tabel 17. Nilai Impedansi Konduktor Penyalur Gedung Perkapalan.....	54
Tabel 18. Nilai Impedansi Konduktor Penyalur Gedung Elektro	55
Tabel 19. Nilai Impedansi Konduktor Penyalur Gedung Arsitektur.....	57
Tabel 20. Nilai Impedansi Konduktor Penyalur Gedung Geologi	59
Tabel 21. Hasil Pengukuran Tahanan.....	61
Tabel 22 Evaluasi Sistem Penangkap Petir Gedung Sipil	62
Tabel 23 Evaluasi Sistem Penangkap Petir Gedung Perkapalan.....	64
Tabel 24. Evaluasi Sistem Penangkap Petir Gedung Elektro.....	65
Tabel 25. Evaluasi Sistem Penangkap Petir Gedung Arsitektur	67
Tabel 26. Evaluasi Sistem Penangkap Petir Gedung Geologi.....	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. data spesifikasi Penangkap petir gedung Departemen Teknik Sipil.	74
Lampiran 2. data spesifikasi Penangkap petir gedung Departemen Teknik Perkalapan.....	77
Lampiran 3. Data spesifikasi Penangkap petir gedung Departemen Teknik Elektro	79
Lampiran 4. Data spesifikasi Penangkap petir gedung Departemen Teknik Arsitektur.....	81
Lampiran 5. Data spesifikasi Penangkap petir gedung Departemen Teknik Geologi	84
Lampiran 6. Hasil Pengukuran sistem pentanahan	85
Lampiran 7. Data Hari Guruh Kabupaten Gowa.....	88

BAB I

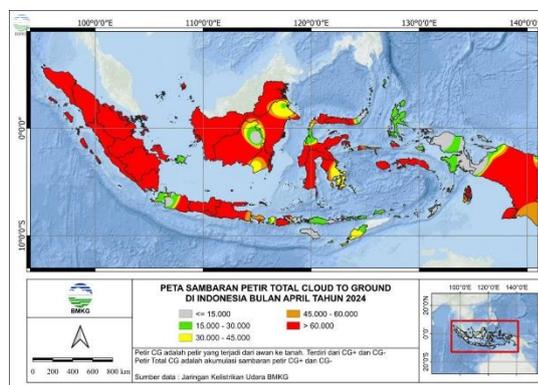
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena petir merupakan suatu gejala dan fenomena alam akibat terjadinya beda potensial antara bumi dengan awan. Petir dianalogikan sebagai kapasitor raksasa, dimana awan merupakan lempeng pertama dan lempeng kedua adalah bumi merupakan lempeng netral. Kapasitor merupakan sebuah komponen pasif dimana bisa menyimpan energi sesaat. Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan, dimana salah satu awan bertindak sebagai muatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif (Jiang A, dkk.,2016).

Mengingat letak geografis Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia beriklim tropis, akibatnya Indonesia memiliki hari guruh berkisar antara 180-260 hari guruh per tahun dengan kerapatan sambaran petir ke tanah (N_g) mencapai 30 sambaran per tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa banyaknya petir setiap tahun dan perlunya proteksi bagi setiap gedung bangunan yang rawan terkena sambaran petir (Rakov, 2012).

Provinsi Sulawesi Selatan termasuk daerah di Indonesia yang memiliki peta sambaran petir yang tinggi dengan nilai diatas 60.000 kali selama bulan April tahun 2024, seperti di tujukkan dalam Gambar 1 :



Gambar 1. Peta sambaran petir (BMKG)

Sambaran petir langsung dapat menyebabkan kerusakan bangunan, peralatan, kebakaran bahkan korban jiwa, sedangkan tegangan induksi yang disebabkan sambaran tidak langsung dapat mempengaruhi kinerja peralatan umur pakai, bahkan kerusakan pada peralatan. Hal ini dapat menimbulkan kerugian besar,

sehingga dibutuhkan usaha untuk mengurangi resiko terhadap bahaya kerusakan akibat sambaran langsung pada bangunan yang dilindungi (Rakov, 2012).

Sistem proteksi petir di dalam suatu bangunan meliputi dua bagian yaitu sistem proteksi internal dan eksternal. Sistem proteksi internal dirancang untuk melindungi peralatan di dalam bangunan dari kerusakan akibat sambaran petir secara tidak langsung, sedangkan sistem proteksi eksternal dirancang untuk mengurangi resiko terhadap bahaya kerusakan akibat sambaran langsung pada bangunan yang di lindungi (Rakov, 2012).

Salah satu cara untuk melindungi bangunan dikawasan kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dari sambaran petir adalah dengan memasang Penangkap petir yang handal dan memenuhi persyaratan yang berlaku. Hal ini dilakukan karena melindungi suatu bangunan atau benda terhadap petir pada hakikatnya merupakan penyediaan sistem yang terencana dan terimplementasi dengan baik. Dengan cara ini, pada saat terjadi sambaran, stuktur ini akan dengan aman menyalurkan arus petir ke dalam tanah tanpa menimbulkan bahaya bagi makhluk hidup atau benda lainnya di dalam, di luar atau sekitar gedung

Gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yaitu Gedung Departemen Sipil, Mesin, Perkapalan, Elektro, Arsitektur, dan Geolgi memiliki total empat Tingkat. Dimana gedung tersebut memiliki intensitas akademik maupun nonakademik bagi para mahasiswa, dosen, dan pegawai. Secara umum gedung di peruntukkan sebagai pusat administrasi departemen, ruang kepala departemen, ruang dosen, dan laboratorium sehingga dibutuhkan suatu sistem proteksi dalam hal ini untuk menghindari kerusakan yang diakibatkan oleh sambaran petir agar tetap terjaga keamanan dan kenyamanan penggunaan gedung.

Mengacu pada peraturan Menteri Tenaga Kerja No: PER 02/MEN/1989 Tentang Pengawasan Instalasi Penyalur Petir, pada BAB II pasal 9 ayat 1 pada poin C, Gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanddin merupakan bangunan tinggi yang digunakan untuk tempat kepentingan umum, sehingga perlu adanya pemasangan proteksi Penangkap petir, dan mengacu pada BAB IX mengenai pemeriksaan dan pengujian pasal 50 ayat 2 pada poin C, menerangkan bahwa setiap instalasi Penangkap petir dan bagian-bagiannya wajib di periksa dan diuji sertiap 2 tahun sekali, berdasarkan data yang di terima dari bidang

perencanaan, sumberdaya, dan alumni bahwa evaluasi terhadap sistem Penangkap petir terakhir kali dilakukan ditahun 2011 dan hal ini tidak sesuai dengan peraturan pemerintah yang seharusnya dilakukan dua tahun sekali, hal ini dapat mengancam keselamatan penghuni gedung pada sewaktu-waktu. Mengingat pentingnya hal tersebut maka perlu adanya evaluasi sistem Penangkap petir untuk menjaga keamanan dan kelancaran seluruh kegiatan

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana tingkat kebutuhan sistem Penangkap petir dan level proteksi pada masing-masing gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bagaimana jarak sambar petir dan radius perlindungan masing-masing gedung Departemen Fakultas Tkenik Universitas Hasanuddin
3. Bagaimana mencari nilai resistansi pentanahan pada masing-masing gedung Departemen Faklutas Teknik Universitas Hasanuddin

1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui tingkat kebutuhan sistem Penangkap petir dan level proteksi pada masing-masing gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Untuk mengetahui jarak sambar petir dan radius perlindungan masing-masing gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Untuk mengetahui nilai resistansi pentanahan pada masing-masing gedung Departemen Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Evaluasi sistem Penangkap petir dapat dijadikan acuan sistem Penangkap petir yang baik pada gedung Departemen Faklutas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Menambah wawasan tentang sistem Penangkap petir secara spesifik bagi pembaca, khususnya Departemen Teknik Elektro
3. Mendapat kan informasi hasil dan evaluasi yang berguna sebagai salah satu acuan proses pengkajian untuk perbaikan sistem Penangkap petir dan peningkatan kualitas upaya pemeliharaan sistem bagi keberlangsungan penggunaan bangunan untuk masa yang akan datang

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi hal-hal sebagai berikut.

1. Menganalisis sistem Penangkap petir eksternal dan *grounding* hanya berdasarkan PUIPP dan Standar Nasional Indonesia (SNI).
2. Objek yang di evaluasi adalah sistem Penangkap petir eksternal yang dimiliki gedung Departemen Sipil, Mesin, Perkapalan, Elektro, Arsitektur, Geologi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fenomena Petir

Petir adalah sebuah cahaya yang terang benderang yang dihasilkan oleh tenaga listrik alam yang terjadi di antara awan-awan atau awan ke tanah. Sering kali terjadi bila cuaca mendung atau badai. Petir merupakan peristiwa alam yaitu proses pelepasan muatan listrik (*electrical discharge*) yang terjadi di atmosfer (Sekti, 2015).

Petir atau Kilat adalah fenomena alam yang biasanya terjadi saat musim hujan ketika langit menciptakan kilatan cahaya yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian terdengar suara gemuruh yang disebut Guntur. Perbedaan waktu awal disebabkan oleh perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya (Sekti, 2015).

Petir adalah fenomena alam yang dapat dibandingkan dengan kapasitor raksasa dimana pelat pertama awan (bisa menjadi negatif atau positif) dan pelat kedua adalah tanah (netral). Kapasitor adalah bagian pasif dari suatu rangkaian yang dapat menyimpan energi sesaat. Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (interuage), dimana satu awan bermuatan negatif dan yang lainnya bermuatan positif (Sekti, 2015)

Petir adalah pelepasan listrik di udara yang terjadi antara awan dan awan, antara pusat muatan di awan dan antara awan dan tanah. Dari tiga kemungkinan yang disebutkan di atas, pelepasan terjadi lebih sering antara awan dan awan dan di dalam awan itu sendiri daripada pelepasan yang terjadi antara awan dan tanah. Meskipun kurang umum, pancaran awan-ke-tanah cukup besar untuk merusak objek di permukaan tanah. Secara umum dapat dikatakan bahwa terjadinya petir merupakan hasil dari proses di atmosfer yang mengakibatkan terjadinya akumulasi muatan di awan. Muatan di awan ini menciptakan muatan baru di tanah, dan sambaran petir terjadi ketika potensi antara tanah dan awan lebih besar daripada tegangan tembus kritis udara. Distribusi beban awan, biasanya di bagian atas, diasumsikan oleh beban (Sekti, 2015)

Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan (Naibaho & Sofiyah 2021).



Gambar 2. Proses terjadinya petir (Sekti, 2015)

2.2 Mekanisme Induksi Petir

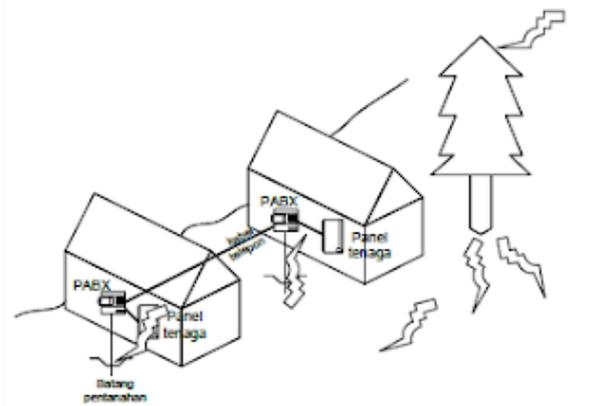
Mekanisme induksi akibat sambaran petir tidak langsung menyebabkan peningkatan potensial pada peralatan elektronik yang terjadi karena beberapa faktor, yaitu:

a. Kopling resistif

Kopling resistif ini timbul ketika suatu saat terjadi sambaran langsung ke tanah di dekat suatu bangunan secara langsung juga akan mengakibatkan kenaikan tegangan yang sangat besar di sekitar permukaan yang di sambarinya. Akibatnya akan berpengaruh pada sistem pentanahan tenaga listrik (misalnya pipa yang di tanahkan) dimana pada sistem

pentanahan yang berbeda akan memiliki nilai potensial yang berbeda pula sehingga akan di mungkinkan mengalirnya arus balik melalui sistem tenaga listrik yang ada pada bangunan tersebut yang tentu saja menimbulkan kerusakan sepanjang jalur yang dilaluinya. (Widhya, 2009)

Jalur arus balik tersebut juga dapat melalui saluran komunikasi atau data antara gedung yang terkena efek dari sambaran langsung dengan gedung lainnya. Dalam hal ini besarnya tegangan surja yang terjadi karena sambaran petir secara langsung ke tanah didekat bangunan nilainya dipengaruhi oleh besarnya arus kanal petir yang disalurkan pada permukaan tanah tersebut, resistansi tanah dan jarak titik sambaran dengan terminal pentanahan bangunan. (Widhya, 2009)



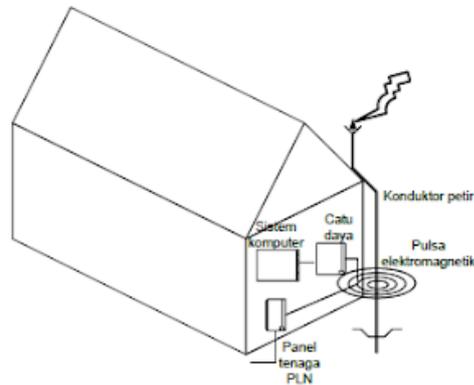
Gambar 3. Mekanisme kopling resistif (Lasut, 2010)

b. Kopling Induktif

Arus petir yang mengalir pada suatu penghantar akan menghasilkan medan magnet. Medan magnet ini akan bersentuhan dengan penghantar lain, sehingga menimbulkan loop tegangan dengan nilai tegangan yang cukup tinggi.

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

induktansi maka akan timbul tegangan induksi pada kabel Gambar 4 mengilustrasikan mekanisme kopling induktif (Lasut, 2010).



Gambar 4. Mekanisme kopling induktif (Lasut, 2010).

c. Kopling Kapasitif

Saluran petir di sekitar sambaran petir dapat menyebabkan medan kapasitif tinggi pada perangkat konduktif, seperti kapasitor yang sangat besar dengan udara sebagai dielektrik. Dengan cara ini, terjadi peningkatan tegangan yang tinggi pada kabel, meskipun struktur bangunan tidak terpengaruh oleh sambaran langsung (Lasut, 2010).

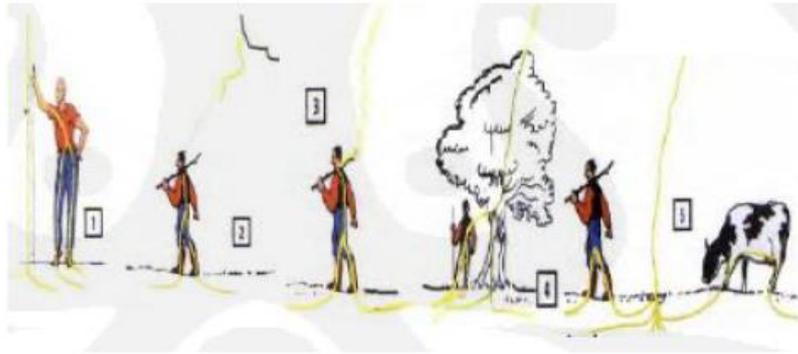
2.3 Bahaya Sambaran Petir

Petir selalu mencari rute termudah dan terdekat dengan permukaan bumi, sehingga gedung-gedung tinggi berpotensi terkena petir.

a. Bahaya bagi manusia

Ketika arus Listrik mengalir melalui tubuh manusia karena sambaran petir, organ-organ yang dilalui arus tersebut akan mengalami kejutan. Arus ini dapat menyebabkan jantung berhenti bekerja. Selanjutnya, efek iritasi dan panas dari sinar pada organ tubuh juga dapat melumpuhkan tubuh manusia.

Perlu diperhatikan bahwa penyebab kematian akibat hantaman tersebut bersifat tidak langsung, karena di sekitar titik/tempat yang terkena hantaman terdapat muatan listrik dengan kerapatan muatan tinggi yang menyebar di tanah dalam arah radial. Gambar 5 menunjukkan berbagai jenis petir yang menyambar manusia (Lasut, 2010).



Gambar 5. Sambaran petir terhadap manusia (Lasut, 2010).

Keterangan:

1. Tegangan sentuh
2. Sambaran tidak langsung
3. Sambaran langsung
4. *Side flash*
5. Tegangan Langka

b. Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik

Bahaya sambaran ini sering terjadi, petir menyambar dan mengenai sesuatu di luar area bangunan tetapi berdampak pada jaringan listrik di dalam bangunan, hal ini karena sistem jaringan distribusi listrik/PLN memakai kabel udara terbuka dan letaknya sangat tinggi, bila ada petir yang menyambar kabel terbuka maka arus petir akan tersalurkan ke pemakai langsung. Cara penanganannya adalah dengan cara memasang perangkat arrester sebagai pengaman tegangan lebih (*over voltage*). Instalasi *surge arrester* listrik ini dipasang harus dilengkapi dengan *grounding system* (Lasut, 2010).

c. Sambaran Petir Melalui Jaringan Telekomunikasi

Bahaya sambaran petir jenis ini hampir serupa dengan melalui jaringan listrik namun berdampak pada perangkat telekomunikasi, contohnya telepon dan PABX. Penanganannya dengan cara pemasangan *arrester* khusus untuk jaringan PABX yang dihubungkan dengan *grounding*. Bila bangunan yang akan dilindungi mempunyai jaringan internet maka koneksinya melalui jaringan telepon maka alat ini juga dapat melindungi jaringan internet tersebut (Lasut, 2010).

d. Sambaran Petir Langsung Terhadap Bangunan

Petir atau kilat akan selalu mencari jalan yang termudah dan terdekat menuju permukaan bumi, oleh karena itu bangunan-bangunan tinggi sangat berpotensi terkena sambaran petir.

Sambaran petir yang mengenai suatu struktur bangunan dapat menyebabkan kerusakan yang dapat merugikan keadaan fisik bangunan tersebut maupun manusia di dalamnya. Dampak dari sambaran petir langsung terhadap bangunan antara lain (Hermawan, 2010) :

1. Beban Thermal

Beban thermal adalah terjadi suatu panas yang diakibatkan oleh arus petir yang melewati suatu benda dimana pemanasan yang timbul tersebut tergantung pada besarnya kuadrat arus impuls.

2. Beban Mekanis

Beban mekanis terjadi karena timbulnya gaya elektrodinamis. Apabila arus petir melalui kabel penyalur paralel (konduktor) yang berdekatan atau pada konduktor dengan tekukan yang tajam akan menimbulkan gaya mekanis yang cukup besar, oleh karena itu diperlukan ikatan mekanis yang cukup kuat. Efek mekanis lain ditimbulkan oleh sambaran petir yang disebabkan kenaikan temperatur udara yang tiba-tiba dan menyebabkan ledakkan pemuatan udara disekitar jalur muatan bergerak. Hal ini dikarenakan jika konduktifitas logam diganti dengan konduktifitas busur api Listrik, energi yang timbul akan meningkatkan sekitar ratusan kali dan energi ini dapat menimbulkan kerusakan pada struktur bangunan yang dilindungi

3. Beban Korosi

Beban korosi terjadi karena proses elektrokimia pada proses pengosongan muatan awan. Proses pengosongan muatan awan tertentu akan mengakibatkan aliran muatan listrik pada objek sambaran dimana energi yang disalurkan cukup besar untuk mempengaruhi proses elektrokimia.

2.4 Taksiran Resiko Kerusakan

Suatu instalasi proteksi harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada didalamnya terhadap bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir dapat menggunakan standar-standar yang berlaku yang diantaranya adalah : Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004.

2.4.1 Standar dan Aturan Besarnya Kebutuhan Sistem Penangkap Petir pada Gedung

Penangkap petir yang baik mempunyai tahanan pentanahan yang dibuat sekecil mungkin apabila tersambar petir, arus dapat mengalir tanah netral dan cepat agar tidak merusak benda-benda yang dilewatinya. Untuk memberikan tingkat yang lebih baik pada perlindungan, tahanan tanah besarnya ditentukan berdasarkan fungsi bangunan (Rohani, 2017).

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan adanya sistem Penangkap petir dapat ditentukan berdasarkan indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu sesuai dengan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) seperti pada Tabel 1 sampai 6. Tabel 1 menampilkan Indeks A yang memaparkan bahaya berdasarkan jenis bangunan yang terdiri dari 7 poin sebagai berikut (Rohani, 2017).

Tabel 1. 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 dipergunakan, misalnya 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 atau stasiun kereta api	1

Bangunan atau isinya cukup penting, misalnya menara air, barang-barang berharga, dan kantor pemerintah	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monument sejarah 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.	15

Sumber : Kementerian Tenaga Kerja

Tabel 2 menampilkan Indeks B yang memaparkan bahaya berdasarkan konstruksi bangunan yang terdiri dari 4 poin sebagai berikut (Rohani, 2017).

Tabel 2 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 : Kementerian tenaga kerja

Tabel 3 menampilkan Indeks C yang memaparkan bahaya berdasarkan tinggi bangunan yang terdiri dari 10 poin sebagai berikut (Rohani, 2017).

Tabel 3 Indeks C: Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan

Tinggi Bangunan	(m)	Indeks C
Sampai dengan	6	0
	12	2
	17	3
	27	4
	35	5
	50	6
	70	7
	100	8
	140	9
	200	10

Sumber : Kementerian Tenaga Kerja

Tabel 4 menampilkan Indeks D yang memaparkan bahaya berdasarkan situasi bangunan yang terdiri dari 3 poin sebagai berikut (Rohani, 2017).

Tabel 4 Indeks D: Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan

Situasi Bangunan	Indeks D
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai % tinggi bukit atau di pegunungan sampai 1000 meter	1
Di puncak gunung atau pegunungan yang lebih dari 1000 meter	2

Sumber : Kementerian Tenaga Kerja

Tabel 5 menampilkan Indeks E yang memaparkan bahaya berdasarkan pengaruh hari guruh yang terdiri dari 8 poin sebagai berikut (Rohani, 2017).

Tabel 5 Indeks E: Bahaya Berdasarkan Pengaruh Hari Guruh

Hari guruh per tahun	Indeks E
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
125	6
256	7

Sumber : Kementerian Tenaga Kerja

Dengan memperhatikan keadaan di tempat yang hendak dicari tingkat resikonya dan kemudian menjumlahkan indeks-indeks tersebut diperoleh suatu perkiraan bahaya yang ditanggung bangunan dan tingkat pengamanan yang harus diterapkan berdasarkan pada Tabel 6 berikut (Rohani, 2017):

Tabel 6 Indeks R: Perkiraan Bahaya Sambaran Petir

R = A+B+C+D+E	Perkiraan	Pengamanan
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
	Sedang	Sedikit dianjurkan
	13	Agak besar
14	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat besar	Sangat perlu

Sumber : Kemetrian Tenaga Kerja

2.4.2 Frekuensi Sambaran Petir

Frekuensi sambaran petir langsung (N_d) dapat dihitung dengan perkalian kerapatan kilat ke bumi pertahun (N_g) dan luas daerah perlindungan efektif pada gedung (A_e) dengan Persamaan 2.1 (Rohani, 2017):

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (2.1)$$

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata-rata pertahun di daerah tersebut. Hal ini dipengaruhi oleh hubungan yang ditunjukkan dengan Persamaan 2.2 (Rohani, 2017):

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (2.2)$$

Sedangkan besar area cakupan ekuivalen dari bangunan gedung (A_e) dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.3 (Rohani, 2017):

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (2.3)$$

Maka dengan ketiga Persamaan diatas, nilai N_d dapat dicari dengan Persamaan 2.4 (Rohani, 2017):

$$N_d = 0,04 \cdot T_d^{1,25} (ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2) 10^{-6} \quad (2.4)$$

keterangan :

a = Panjang Atap Gedung (m)

b = Lebar Atap Gedung (m)

h = Tinggi Gedung (m)

T_d = Hari Guruh Pertahun

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/km²/tahun)

A_e = Area cakupan

N_d = Frekuensi sambaran petir (per-tahun)

Area cakupan ekuivalen dari bangunan gedung adalah area permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan gedung yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan (Rohani, 2017).

2.4.3 Level Proteksi Petir

Pemilihan level (tingkat) proteksi petir pada sebuah bangunan yang memadai berdasarkan standar SNI 03-7015-2004 dipengaruhi oleh frekuensi sambaran petir langsung setempat pertahun yang menunjukkan perkiraan jumlah sambaran petir yang secara langsung akan mengenai suatu bangunan (N_d) pada struktur yang diproteksi serta frekuensi sambaran petir per tahun (N_c) yang diperbolehkan merupakan nilai ambang batas yang menunjukkan frekuensi sambaran petir yang masih dapat ditoleransi oleh suatu bangunan. Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya pemasangan sistem proteksi petir pada bangunan mengacu dari 2 kondisi, yaitu (Hosea, 2004) :

- a. Jika $N_d \leq N_c$, maka bangunan tidak memerlukan sistem proteksi petir.
- b. Jika $N_d > N_c$, maka diperlukan sistem proteksi petir.

Apabila hasil perbandingan menunjukkan bahwa bangunan memerlukan sistem proteksi petir, maka langkah yang selanjutnya dilakukan adalah menghitung efisiensi sistem proteksi petir (E_c) dengan Persamaan 2.5 (Hosea, 2004):

$$E \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \quad (2.5)$$

Keterangan :

E = Efisiensi (%)

N_d = frekuensi rata-rata sambaran petir

N_c = frekuensi sambaran petir tahunan setempat

Setelah diketahui Setelah diketahui nilai E menggunakan Persamaan 2.6, maka dapat diketahui tingkat proteksi petirnya yang memiliki tingkat proteksi dari yang terendah tingkat proteksi IV hingga yang tertinggi yaitu tingkat proteksi I yang dapat ditampilkan pada Tabel 7 berikut (Hosea, 2004):

Tabel 7 Efisiensi sistem penangkap petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi Sistem Penangkap Petir
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

Sumber; SNI 03-7015-2004

Keterangan:

$E < 0\%$ tidak perlu sebuah sistem proteksi petir

$0\% < E \leq 80\%$ berada di tingkat proteksi IV

$80\% < E \leq 90\%$ berada di tingkat proteksi III

$90\% < E \leq 95\%$ berada di tingkat proteksi II

$95\% < E \leq 98\%$ berada di tingkat proteksi I

2.5 Sistem Penangkap Petir Eksternal

Sistem Penangkap petir eksternal merupakan sebuah kumpulan dari *finial-finial* yang tersusun dan ditempatkan pada suatu bangunan sedemikian rupa agar sambaran petir yang menuju bangunan tersebut dapat disalurkan oleh *finial* dan dibumikan, oleh karena itu sistem Penangkap petir eksternal merupakan sistem proteksi pada bangunan tinggi yang sangat penting untuk menjamin keselamatan manusia dan isi bangunan. Sistem Penangkap Petir Eksternal terdiri dari:

1. Terminasi udara (*Air Terminal*)
2. Konduktor penyalur arus petir (*Down conductor*)
3. Penumaian (*Grounding*)

2.5.1 Terminasi Udara (*Air Terminal*)

Terminasi udara merupakan salah satu komponen sistem Penangkap petir eksternal yang berfungsi mengundang dan menangkap sambaran petir yang menuju gedung yang berupa elektroda logam yang dipasang secara tegak maupun mendatar (Hermawan, 2010).

Penangkap petir ditempatkan sedemikian rupa sehingga mampu menangkap semua petir yang menyambar tanpa mengenai bagian gedung, bangunan atau daerah

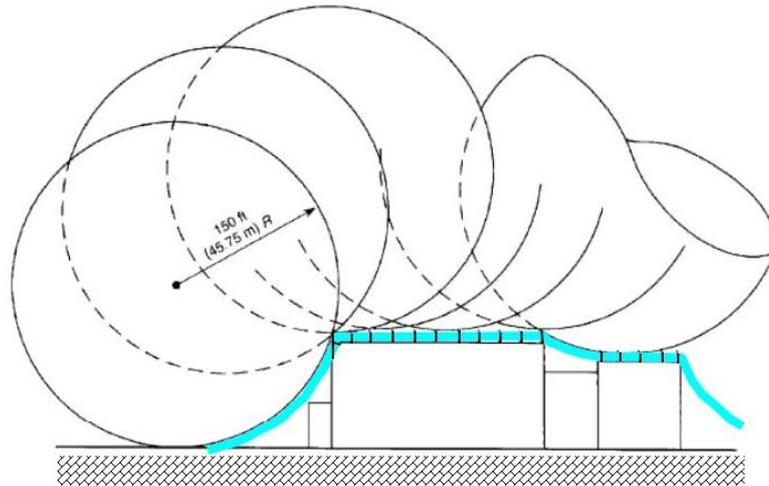
yang dilindungi (zona proteksi). Posisi penyalur petir yang vertical membuat tampak atasnya hanya berupa suatu titik, sehingga bila *step leader* mendekati penyalur petir dari daerah manapun akan mengalami reaksi yang sama (tanpa kondisi khusus). Hal ini menggambarkan secara umum bahwa perilaku penyalur petir dalam melindungi daerahnya cenderung untuk membentuk suatu lingkup volume dengan penyalur petir sebagai sumbu. Bidang dasar zona proteksinya merupakan suatu lingkaran dengan penyalur petir sebagai titik pusat. Oleh sebab itu, untuk menyatakan kemampuan proteksi penyalur petir digunakan sebutan *radius proteksi* atau jari-jari proteksi, yaitu jarak terjauh dari pusat lingkaran yang masih dapat dilindungi penyalur petir (Hermawan, 2010).

2.5.1.1 Metode Bola Bergulir

Dengan metode ini seolah-olah ada suatu bola dengan radius R yang bergulir diatas tanah, sekeliling stuktur dan di atas struktur ke segala arah hingga bertemu dengan tanah atau struktur yang berhubungan dengan permukaan bumi yang mampu bekerja sebagai penghantar. Titik sentuh bola bergulir pada stuktur adalah titik yang dapat disambar petir dan pada titik tersebut harus di proteksi oleh konduktor terminasi udara. Semua petir yang berjarak R dari ujung Penangkap petir akan mempunyai kesempatan yang sama untuk menyambar bangunan (Badan Standarisasi Nasional, 2004). Besarnya R berhubungan dengan besar arus petir yang dinyatakan dengan Persamaan (Farisi,2017):

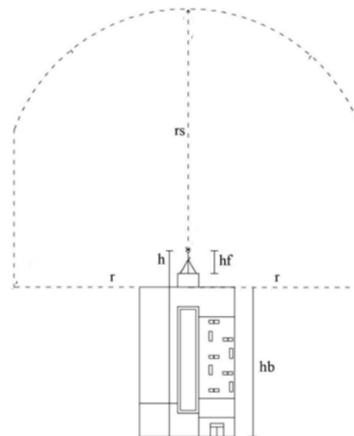
$$R (m) = I^{0,75} \quad (2.6)$$

Apabila petir yang menyambar bangunan dengan arus yang lebih kecil daripada nilai tersebut, bangunan masih dapat bertahan. Namun apabila arus petir yang menyambar lebih besar dari nilai tersebut, kilatan akan ditangkap oleh Penangkap petir. Gambar 6 menunjukkan contoh dari penagplikasian metode bola bergulir pada bangunan yang berbentuk rumit (Farisi,2017) :



Gambar 6. Pengaplikasian metode bola bergulir

Metode bola bergulir pada penangkap petir memiliki beberapa parameter, yaitu Jarak sambar, Panjang radius proteksi, dan Luas radius perlindungan (Noviana & Karim.,2022)



Gambar 7. Area perlindungan penangkap petir aktif (Noviana & Karim.,2022)

1. Jarak sambar

Jarak sambar adalah jarak antara ujung lidah petir yang bergerak ke bawah kebawah (downward leader) bertemu dengan petir penghubung yang bergerak ke atas (connecting leader) pada satu titik, dan titik ini disebut titik sambar. Secara empiris jarak sambar merupakan fungsi dari arus puncak petir, dan sebagian peneliti juga menurunkan bahwa jarak

sambar juga adalah fungsi tinggi struktur. Jarak sambar dapat ditentukan dengan Persamaan 2.7, yaitu (Noviana & Karim.,2022) :

$$R_s (m) = 10 \times I^{0,65} \quad (2.7)$$

Keterangan :

R_s = Jarak sambar

I = Arus Puncak

Nilai I dapat dilihat dari parameter sambran petir pada Tabel 8 :

Tabel 8. Kaitan Parameter Arus Petir dengan Tingkat Proteksi

Parameter Petir		Tingkat Proteksi		
		I	II	III
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan total	Qtotal (C)	300	255	150
Muatan impuls	Qtotal (C)	100	75	50
Energi spesifik	W/R (Kj/ Ω)	10.000	5.600	2.500
Rata-rata kecuraman	Di/dt30/90% (Ka/ μ s)	200	150	100

Sumber; SNI 03-7015-2004

2. Panjang Radius Perlindungan

Penggunaan Radius Proteksi dapat digunakan untuk menentukan apakah objek yang berada disekitar penangkap petir terlindungi atau tidak. Radius proteksi bola bergulir dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.8 (Noviana & Karim.,2022):

$$r = \sqrt{2r_s h_x - h_x^2} \quad (2.8)$$

Keterangan :

r = Radius Daerah Perlindungan (m)

r_s = Jarak Sambar (m)

h_x = Tinggi penangkap petir dari tanah (m)

3. Luas Daerah Perlindungan :

$$A = \pi \times r^2 \quad (2.9)$$

Keterangan :

A = Luas Daerah Perlindungan (m^2)

r = Radius Daerah Perlindungan (m)

2.5.2 Konduktor penyalur arus petir (*Down conductor*)

Fungsi dari *Down conductor* yaitu selaku media yang menyalurkan arus petir yang terkena air terminal serta dilanjutkan menuju grounding/permukaan. Posisi dan jumlah konduktor penyalur yang dipilih hendaknya memperkirakan fakta bahwasanya apabila dibaginya arus petir ke pada sejumlah konduktor penyalur, maka gangguan elektro magnetik dan resiko loncatan ke samping di dalam gedung akan berkurang. Mengacu pada standar SNI 7015 2014 dipaparkan bahwa tiap terpasangnya *down conductor* pada rute paling pendek dan tidak memicu bahaya induksi khususnya untuk peralatan sensitif dan bahaya *side-flash* pada manusia (Christian,2017).

Resistivitas adalah ukuran kemampuan suatu material untuk menahan aliran arus listrik. Ini adalah sifat intrinsik dari material yang menunjukkan seberapa sulit arus listrik mengalir melalui material tersebut. Dalam sistem penangkap petir, material dengan resistivitas rendah sangat penting agar arus petir dapat disalurkan ke tanah dengan cepat dan aman. Biasanya, material seperti tembaga atau aluminium, yang memiliki resistivitas rendah, digunakan untuk *downconductor*. (Christian,2017).

Tabel 9. Nilai resistivitas pada suatu bahan

Bahan	Resistivitas (ohm.m)
Tembaga	$1,68 \times 10^{-8}$
Aluminium	$2,82 \times 10^{-8}$

Sumber : PUIL 2000

Down conductor pada instalasi dengan peralatan sensitif harus dilengkapi dengan alat monitoring jumlah sambaran petir dan alat rekaman besar arus

sambaran petir. *Down conductor* harus didesain agar memiliki resistansi yang kecil agar dapat mengalirkan langsung arus petir ke tanah (Christian,2017).

Sementara untuk menghitung luas penghantar menggunakan Persamaan 2.10 berikut (Christian,2017):

$$A_c = \pi \times r_c^2 \quad (2.10)$$

Keterangan :

r_c = jari-jari penghantar (mm)

A_c = luas penampang penghantar (mm²)

Untuk menghitung resistansi dapat menggunakan Persamaan 2.11 sebagai berikut (Christian,2017):

$$R_C = \rho \times \frac{l}{A_c} \quad (2.11)$$

Keterangan :

ρ = resistivitas material kabel (ohm.m)

l = panjang penghantar (m)

A_c = luas penampang penghantar (mm²)

Dan untuk menghitung induktansi dengan menggunakan Persamaan 2.12 (Putra, 2009):

$$L = 2l \times \log\left(\frac{2l}{r_c}\right) \times 10^{-7} \quad (2.12)$$

Keterangan :

l = Panjang penghantar (m)

r = jari-jari penghantar (m)

untuk menghitung besar kapasitansi pada konduktor penyalur arus petir menggunakan persamaan 2.13 :

$$C = \frac{2 \times \pi \times (\epsilon_0 \times \epsilon_r)}{\ln\left(\frac{r_{luar}}{r_{dalam}}\right)} \times l \quad (2.13)$$

Keterangan :

C = Kapasitansi penghantar (m)

- ϵ_0 = Permittivitas vakum ($8.854 \times 10^{-12} F/m$)
 ϵ_r = Permittivitas relatif dari bahan isolasi
 l = Panjang penghantar (m)

Impedansi merupakan gabungan antara resistansi dan reaktansi (induktif dan kapasitif) dalam suatu penghantar arus, termasuk kabel penyalur arus petir. Karena arus petir mengandung komponen frekuensi tinggi 10 – 150 kHz, impedansi yang dialami oleh kabel penyalur petir tidak hanya bergantung pada resistansi, tetapi juga pada reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif pada konduktor penyalur tersebut. Maka dapat dihitung nilai impedansi pada penyalur arus petir pada Persamaan 2.14 (Christian,2017):

$$Z = \sqrt{R_C^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2.14)$$

Keterangan :

- Z = Impedansi total (ohm)
 R_C = Resistansi kabel (ohm)
 X_L = Reaktansi induktif (ohm)
 X_C = Reaktansi induktif (ohm)

Reaktansi induktif dapat dihitung dengan Persamaan 2.15:

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.15)$$

Reaktansi kapasitif dapat dihitung dengan Persamaan 2.16:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.16)$$

Keterangan :

- f = Frekuensi arus (Hz)
 L = Induktansi kabel (H)
 C = Kapasitansi kabel (F)

2.5.3 Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan adalah menanam satu / beberapa elektroda kedalam tanah dengan cara tertentu untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang diinginkan.

Elektroda pembumian tersebut membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar bumi yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi. Sebagai bahan elektroda, digunakan tembaga atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia). Tahanan elektroda tanah adalah tahanan antara elektroda tanah dengan suatu tanah referensi. Tahanan pentanahan adalah tahanan elektroda tanah dan hantaran hubung tanah. Tahanan pentanahan total adalah tahanan pentanahan dari keseluruhan sistem pentanahan yang terukur disuatu titik (Zulhajji, dkk., 2022).

Tanah pada dasarnya merupakan konduktor yang buruk, sehingga setiap jenis tanah, dengan komposisi penyusunnya yang berbeda, memiliki nilai resistivitas yang berbeda pula. Ketika arus sangat besar dari sambaran petir (dengan kisaran arus 100 kA – 200 kA) melewati lapisan tanah dengan tahanan tertentu, misalnya 10 ohm, akan terjadi perbedaan tegangan yang sangat tinggi di permukaan tanah, yang bisa mencapai 1 juta volt per meter. Tegangan yang terbentuk ini dikenal sebagai surja tegangan tanah (ground potential surge) (Zulhajji, dkk., 2022).

Tabel 10. Karakteristik Tanah

Jenis tanah	Resistansi Jenis tanah (ohm)
Tanah rawa, tanah urug, & tanah humus	30
Tanah liat & tanah ladang	100
Pasir basah	200
Kerikil basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah berbatu	3000

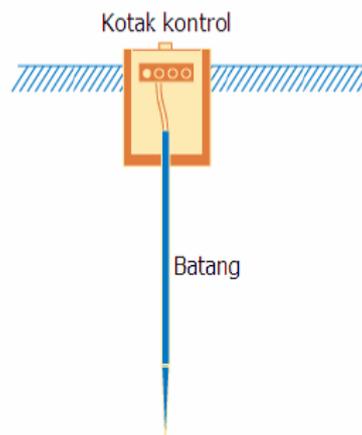
Sumber : PUIL2000

2.5.3.1 Elektroda Batang

1. Satu Batang Elektroda yang ditanam Tegak Lurus ke Dalam Tanah

Sistem pembumian dengan elektroda batang adalah suatu sistem pembumian dengan menggunakan batang-batang elektroda yang ditanam

tegak lurus dengan permukaan tanah. Banyaknya batang yang ditanam didalam tanah tergantung besar tahanan pembumian yang diinginkan. Makin kecil tahanan pembumian yang diinginkan, makin banyak batag konduktor yang harus ditanam. Gambar 8 menunjukkan elektroda batang yang ditanam ke dalam tanah dengan tegak lurus (Zulhajji, dkk., 2022).



Gambar 8. Elektroda batang ditanam tegak lurus (Zulhajji, dkk., 2022).

Tahanan pentanahannya dapat dihitung sesuai Persamaan 2.17 sebagai berikut (Zulhajji, dkk., 2022):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{d} \right) - 1 \right] \quad (2.17)$$

Dimana :

R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

L = Panjang elektroda (meter)

d = Diameter elektroda (meter)

Jika dilihat dari Persamaan 2.17 diatas, maka makin Panjang konduktor yang ditanam dalam tanah, makin kecil tahanan pembumiannya. Demikian juga makin besar diameter konduktor juga makin kecil tahanan pembumiaannya.

2. Dua Batang Elektroda yang ditanam Tegak Lurus ke Dalam Tanah

Jika dua batang elektroda batang ditanam sejajar didalam tanah dengan jarak antar elektroda = s , maka tahanan pentanahan dapat dihitung melalui Persamaan 2.18 dan 2.19 berikut (Zulhajji, dkk., 2022):

a. Untuk $s > L$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{d} \right) - 1 \right] + \frac{\rho}{2\pi L} \left[1 - \left(\frac{L^2}{3 \times s^2} \right) + \left(\frac{2 \times L^4}{5 \times s^4} \right) \right] \quad (2.18)$$

b. Untuk $s < L$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{d} \right) + \ln \left(\frac{4L}{d} \right) - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L} + \frac{s^2}{16L} + \frac{s^4}{512L} \right] \quad (2.19)$$

Dimana :

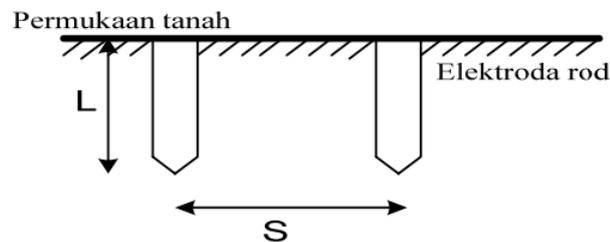
R = Tahanan pentanahan untuk batang tunggal (ohm)

L = Panjang elektroda batang (meter)

a = Diameter elektroda batang (meter)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm meter)

s = Jarak antar Elektroda (meter)



Gambar 9. Dua batang elektroda ditanam sejajar dalam tanah (Zulhajji, dkk., 2022).

Jika susunan batang-batang elektroda yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dalam jumlah yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan semakin kecil dan distribusi tegangan pada permukaan tanah akan lebih merata. Nilai tahanan pentanahan untuk beberapa batang elektroda yang

ditanam tegak lurus ke dalam tanah dimana elektroda menembus lapisan tanah paling bawah atau kedua, (Dermawan, 2011)

Untuk jumlah konduktor yang lebih banyak, tahanan pentanahan akan lebih kecil dan distribusi tegangan akan semakin merata. Penanamannya berbentuk empat persegi panjang atau bujur sangkar dengan jarak antara batang-batang elektroda pentanahan adalah sama. Sedangkan konduktor penghubung antara batang-batang elektroda tersebut terletak di atas permukaan tanah sehingga tahanannya diabaikan. Pada kenyataannya, konduktor rod tersebut dihubungkan dengan peralatan yang akan ditanahkan (Dermawan, 2011).

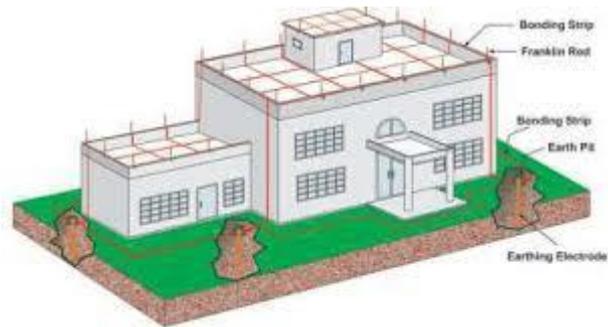
2.6 Jenis-jenis Penangkap Petir

Semakin meningkatnya kebutuhan sistem Penangkap petir pada bangunan menuntut manusia untuk memperbaharui dan membuat inovasi pada sistem Penangkap petir dari konvensional menjadi Penangkap petir non-konvensional. Berikut merupakan beberapa jenis sistem Penangkap petir.

2.6.1 Penangkap Petir Sangkar faraday

Suatu Suatu teknik Penangkap petir yang dikenal pertama kalinya dengan prinsip dan terbilang sederhana, yakni melalui pembentukan seperti perisai atau tameng berwujud konduktor yang nantinya dilaksanakan pengambilan alih sambaran petir. Umumnya Penangkap seperti ini pada jaringan hantaran udara dinamakan groundwire (kawat tanah), sementara pada beberapa bangunan serta perlindungan atas struktur. Rangkaian jalur instalasi penyalur petir yang sifatnya pasif dalam penerimaan sambaran petir ini adalah instalasi Penangkap petir berjenis konvensional. Sistem sangkar faraday/ *faraday cage* yaitu bagi instalasi Penangkap petir yang berjenis konvensional yakni sistem Penangkap petir yang baik (Huda, 2022)

Sangkar petir akan lebih baik apabila ditambah dengan batang Penangkap petir pendek (finial) pada sistem proteksi petir yang diletakkan di areal yang mudah disambar (pemasangan umumnya di bagian yang menonjol, sepanjang sisi, dan masing-masing sudut dari gedung), dimana selanjutnya satu dengan lainnya dihubungkan dengan konduktor penghantar yang secara listrik paling dekat sebagaimana dilihat pada Gambar 10 (Huda, 2022).



Gambar 10. Penangkap petir jenis sangkar faraday

2.6.2 Penangkap Petir Elektrostatis

Penangkap petir elektrostatis memiliki prinsip kerja pada ujung splitzet/finial ditambahkan muatan supaya petir senantiasa memilih ujung ini untuk disambar. Untuk Penangkap petir atau proteksi petir elektrostatis menggunakan energi listrik yang diperoleh dari listrik awan yang diinduksi oleh permukaan bumi. Disebut juga dengan proteksi petir radius yang cara kerjanya menggunakan prinsip kerja elektroskop, dimana pada ujungnya (*head terminal*) dibuat agar petir hanya mengenai ujung proteksi ini dan tidak mengenai sasaran lain dalam radius perlindungan proteksi petir (Siburian, dkk., 2019)

Penangkap petir elektrostatis menggunakan sistem E.S.E (*Early Streamer Emission*). Cara kerja sistem E.S.E dengan cara melepaskan ion ke lapisan udara dalam jumlah besar. Proses ini membuat jalan petir untuk ke ujung Penangkap petir elektrostatis (Siburian, dkk., 2019)

Penangkap petir elektrostatis bekerja secara mandiri saat *terminal head* terhubung dengan *grounding system* melalui kabel penyalur, dengan menggunakan ion positif dari bumi untuk menarik ion negatif dari awan penyebab petir yang masuk kedalam area perlindungan, sehingga sambaran petir akan tertuntun oleh ion



Gambar 11. Tombak Penangkap petir elektrostatis

negatif awan yang tertarik kedalam *terminal head*. Gambar 11 memperlihatkan bentuk Penangkap petir jenis elektrostatik (Rohani, 2017).

2.7 Penelitian yang Relevan

Tabel 11. Penelitian Relevan

No	Penulis	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Hasil
1	Rohani., Yuniarti, N. (2017)	Evaluasi Sistem Penangkap Petir Eksternal di Gedung Rektorat Univesitas Negeri Yogyakarta	Metode yang digunakan adalah metode observasi, pengukuran, studi Pustaka wawancara. Mengacu pada standar SNI 03-7015-2004, NFC 17-102, PUIL 2000 dan Dept PU RI No 378/KPTS/1987.	Berdasarkan gedung tertinggi rektorat UNY sangat memerlukan adanya sistem Penangkap petir dengan tingkat proteksi level III, penggunaan Penangkap petir konvensional dengan metode sudut proteksi masih membutuhkan peningkatan proteksi berupa penambahan batang Penangkap petir sebanyak 27 batang, sedangkan penggunaan Penangkap petir elektrostatik

			berdasarkan Analisa perhitungan standar NFC 17- 102 memiliki radius 100 m, namun sudah mampu melindungi keseluruhan gedung rektorat, konduktor penyalur dan terminasi bumi baik Penangkap petir konvensional maupun elektrostatis keseluruhan sudah memenuhi standar	
2	Hudha, A, N. (2022)	Perencanaan sistem proteksi petir tipe elektrostatis pada SMAN 1 Tuntang	Mengumpulkan data- data primer, menentukan tahapan dan prosedur penelitian, data pentahanan dilakukan dengan pengukuran menggunakan <i>eart</i> <i>tester</i> , kemudian pengukuran utk emeroleh kebutuhan bangunan akan proteksi petir,	Hasil menentukan bahwa setelah dilakukan pemodelan ulang sistem proteksi petir dengan menggunakan satu buah ripe elektrostatis dengan radius 120- 150 meter yang dipasang di atap gedung kelas 11

		<p>penentuan lokasi dengan ketinggian terminasi udara dan total 18,30 meter menghitung berapa sudah dapat batang pentajanan agar memproteksi hasil resistensi kurang seluruh area dari 5Ω gedung, kemudian sistem pentanahan yang awalnya melebihi standar PUIL 2013, kemudian dengan menanam 2 buah batang elektroda dengan panjang 4 meter yang di pasang secara paralel didapat hasil 4.47Ω hasil ini sudah memenuhi standar PUIL 2013 yaitu di bawah 5Ω.</p>	
3	<p>Ermawati. , Arya, E, H. (2021)</p> <p>Perencanaan Penangkap petir di gedung sekolah tinggi teknologi Pekanbaru</p>	<p>Penelitian ini merencanakan Penangkap petir yang baik untuk dipasang di gedung Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru dengan mengetahui nilai-nilai kerapatan sambaran petir, jarak sambaran</p>	<p>Hasil penelitian yang telah dilakukan, pada gedung Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru (STTP) dengan panjang bangunan 32,50 m, lebar bangunan 22,50 m, dan tinggi</p>

		petir, tingkat perkiraan bahaya bangunan, menentukan luas kerapatan petir daerah yang menarik sambaran petir, km ² /tahun, luas menentukan jumlah daerah menarik sambaran petir sambaran petir pertahun, dan =15.827,49 m ² , menentukan radius jumlah perlindungan terhadap sambaran petir sambaran petir. =0,559/tahun, memiliki proteksi tingkat III dengan E=082, luas radius =174.885,44 m ² , Maka untuk lebih aman dari sambaran petir maka gedung STTP menggunakan Penangkap petir elektrostatik cukup menggunakan 1 finial dengan panjangnya 2 m.
4	Winarso., Ridho, Z. (2023)	Evaluasi Sistem Proteksi Penangkap Petir pada Gedung Rektorat dan Mengumpulkan data dimensi bangunan gedung dan data sistemn proteksi Penangkap petir lalu perhitungan data
		Baik gedung KH AR Fachruddin maupun gedung rektorat memiliki indeks R sebesar 14 yang berarti

	Gedung KH AR Fachruddin di Lingkungan Universitas Muhammadiyah Purwokerto	menggunakan standar PUIPP dan SNI 03-7015-2004 setelah itu lalu dievaluasi.	keduanya sangat membutuhkan alat Penangkap petir yang efisien. Sistem di gedung Rektor hanya efektif 75% dibandingkan di gedung KH AR Fachruddin yang mencapai 91%.	
5	Fithriya, I, N. (2017)	Evaluasi sistem Penangkap petir jenis aktif pada gedung perkuliahan	Penelitian ini dilakukan dengan dasar penelitian deskriptif menggunakan metode survey dengan cara observasi. Penelitian deskriptif yang dilakukan lebih menekankan tindakan evaluasi Setelah memperoleh data, maka akan dilakukan evaluasi dengan cara data yang diperoleh akan dibandingkan dengan kriteria atau standar yang telah ditetapkan, yaitu SNI 03-7015-2004, peraturan menteri	Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk area sektor A hanya terdapat 2 gedung yang memiliki sistem Penangkap petir dan kedua sistem Penangkap petir tersebut merupakan Penangkap petir aktif. Kondisi instalasi sistem Penangkap petir pada tiap gedung adalah hampir seluruhnya sudah sesuai dengan standar yang

tenaga kerja Republik Indonesia nomor: PER.02/MEN/1989, dan PUIPP tahun 1983. digunakan yaitu Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia nomor: PER.02/MEN/1989, PUIPP tahun 1983 dan SNI 03-7015-2004. Besar nilai tahanan pentanahan pada masing-masing gedung tidak melebihi batas yang ditentukan yaitu sebesar 5 Ω. Berdasarkan uji konektifitas yang dilakukan, seluruh sistem Penangkap petir yang terpasang masih dalam kondisi tersambung dan berfungsi. Berdasarkan sistem Penangkap petir yang terpasang, radius perlindungannya tidak melindungi seluruh area sektor

A. Hanya beberapa gedung saja yang terlindungi yaitu gedung Syafei, gedung parkir motor, gedung CWNB dan masjid Nurul Irfan.
