

TUGAS AKHIR
ANALISA SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL DENGAN
METODE BOLA BERGULIR PADA GEDUNG
PERKANTORAN PT PLN NUSANTARA
POWER UPDK BELAWAN

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas Dan Persyaratan Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :
DUWI RAMADHAN
2007220058



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2024

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Duwi Ramadhan

NPM : 2007220058

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisa Sistem Proteksi Petir Ekternal dengan Metode Bola Bergulir pada gedung Perkantoran PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN

Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2024

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing



Rimbawati S.T, M.T

Dosen Penguji I



Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T

Dosen Penguji II



Elvy Sahnur Nasution S.T, M.Pd



HALAMAN PENGESAHAN

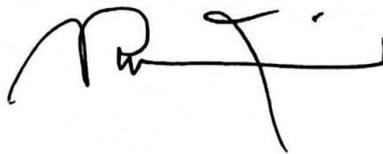
Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Duwi Ramadhan
NPM : 2007220058
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Sistem Proteksi Petir Ekternal dengan Metode Bola Bergulir pada gedung Perkantoran PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN
KEPADA PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 05 November 2024

Dosen Pembimbing



Rimbawati, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dbawah ini:

Nama : Duwi Ramadhan

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 26.11.2001

NPM : 2007220058

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“ Analisa Sistem Proteksi Petir Ekternal dengan Metode Bola Bergulir pada gedung Perkantoran PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN”

Bukan merupakan hasil plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan nonmaterial, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis tugas akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang di bentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik deprogram studi teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 September 2024



Duwi Ramadhan

ABSTRAK

Kilat bisa merusak konstruksi bangunan, menyebabkan kebakaran, kerusakan pada peralatan, bahkan kematian. Dalam usaha melindungi bangunan dari kerusakan yang disebabkan oleh petir, ada dua sistem proteksi yang tersedia, yaitu proteksi internal dan eksternal. Penelitian ini bertujuan untuk Menghitung seberapa besar resiko sambaran yang terjadi pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan. Menganalisis perhitungan nilai radius proteksi pada gedung setelah melakukan analisis kebutuhan penangkal petir dengan metode bola bergulir pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan. Adapun hasil dari penelitian ini mendapatkan Indeks R ataupun potensi resiko pada gedung perkantoran PT.PLN Nusantara Power UPDK Belawan mencapai nilai 14 yaitu gedung ini merupakan kemungkinan bahaya yang besar dan sangat diperlukan untuk pemasangan proteksi petir pada gedung. Gedung perkantoran PT.PLN setelah dilakukan perhitungan parameter arus sambaran petir dengan tingkat proteksi termasuk kedalam tingkat proteksi I dengan indeks E_c sebesar 0,98 dimana radius dan jari – jari bola bergulir sebesar 25 m. Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan metode bola bergulir, penangkal petir yang ada pada gedung belum sepenuhnya melindungi bagian gedung dibuktikan ada bagian bola yang mengenai gedung. Dianjurkan untuk melakukan penambahan proteksi petir pada bagian sudut – sudut gedung agar lebih aman dari sambaran petir yang akan berdampak pada gedung. Maka radius proteksi pada gedung setelah dilakukan penambahan sistem proteksi petir tambahan adalah 45,9 m.

Kata Kunci : Sistem Proteksi, Proteksi Petir, Bola Bergulir



ABSTRACT

Lightning can damage building construction, cause fires, damage to equipment, and even death. In an effort to protect buildings from damage caused by lightning, there are two protection systems available, namely internal and external protection. This research aims to calculate how big the risk of a strike occurring in the PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan office building. Analyzing the calculation of the protection radius value for the building after analyzing the need for lightning protection using the rolling ball method at the PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan office building. The results of this research showed that the R Index or potential risk in the PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan office building reached a value of 14, namely that this building is likely to be a big danger and is very necessary for installing lightning protection in the building. The PT PLN office building, after calculating the lightning strike current parameters, has a level of protection included in protection level I with an E_c index of 0.98 where the radius and radius of the rolling ball is 25 m. After an analysis was carried out using the rolling ball method, the lightning rod in the building did not fully protect parts of the building as evidenced by part of the ball hitting the building. It is recommended to add lightning protection to the corners of the building to make it safer from lightning strikes which will impact the building. So the protection radius of the building after adding an additional lightning protection system is 45.9 m.

Keywords: Protection System, Lightning Protection, Rolling Ball



KATA PENGANTAR



Dengan nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, Puji syukur kita ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISA SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL DENGAN METODE BOLA BERGULIR PADA GEDUNG PERKANTORAN PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN”. Sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendo'akan dan memberikan kasih sayangnnya yang tidak ternilai kepada saya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.hd, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Affandi S.T., M.T., selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Unggul | Cerdas | Terpercaya

7. Ibu Elvy Sahnur Nasution S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Dosen Pembimbing yang senantiasa membimbing saya dalam penulisan laporan Tugas Akhir.
9. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro Satu Angkatan.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa yang akan datang. Akhirnya kami mengharapakan semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi diri pribadi dan para pembaca terkhusus bagi dunia kontruksi Teknik Elektro serta kepada Allah SWT , kami serahkan segalanya demi tercapainya keberhasilan yang sepenuhnya.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, Oktober 2024

UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Duwi Ramadhan

2007220058

DAFTAR ISI

ABSTRAK	2
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan teori	8
2.2.1 Petir	8
2.2.2 Karakteristik Petir	13
2.2.2.1 Formasi Awan Badai	15
2.2.2.2 Pemisahan Muatan	17
2.2.2.3 Pelepasan Muatan (Peluhan) Petir	18
2.3 Kerusakan Akibat Sambaran Petir	21
2.3.1 Sambaran Petir Langsung Terhadap Bangunan	22
2.3.2 Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik	23
2.4 Kerusakan Akibat Sambaran Petir	24
2.4.1 Efek Listrik	24
2.4.2 Efek Tegangan Tembus	25
2.4.3 Efek Termal	25
2.4.4 Efek Mekanis	25
2.5 Bentuk Gelombang Petir	26
2.6 Tegangan Langkah	27
2.7 Sistem Proteksi Petir	28

2.7.1	Sistem Proteksi Internal	28
2.7.2	Sistem Proteksi Eksternal	29
2.7.3	Daerah Proteksi Sambaran Petir (A_e)	32
2.7.4	Densitas Sambaran Petir ke Tanah (N_g)	33
2.7.5	Perkiraan Frekuensi Sambaran petir Langsung (N_d)	33
2.7.6	Efisiensi Sistem Proteksi Petir Yang diperlukan (E_c)	33
2.8	Metode Collection Volume	34
2.9	Metode Zona Proteksi.....	35
2.10	Metode Rolling Sphere	36
2.11	Sistem Terminasi Bumi	40
BAB III METODE PENELITIAN		44
3.1	Pendekatan Penelitian	44
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	44
3.2.1	Jadwal Penelitian	45
3.3	Teknik Pengumpulan Data	45
3.4	Teknik Analisis.....	46
3.5	Flowchart Penelitian	47

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Penampakan Petir.....	12
Gambar 2. 2 Heat Storms.....	17
Gambar 2. 3 Pemisahan Muatan	18
Gambar 2. 4 Proses terjadinya Petir.....	19
Gambar 2. 5 Proses Terjadinya Sambaran Petir	19
Gambar 2. 6 Sambaran Naik Ke Bumi	20
Gambar 2. 7 Kerusakan Bangunan Akibat Sambaran Petir	23
Gambar 2. 8 Sambaran Petir Kejaringan Listrik.....	24
Gambar 2. 9 Osilogram bentuk Gelombang Petir.....	27
Gambar 2. 10 Tegangan Langkah.....	27
Gambar 2. 11 Metode Collection Volume	35
Gambar 2. 12 Metode Zona Proteksi	36
Gambar 2. 13 Metode Rolling Sphere	37
Gambar 2. 14 Perkembangan Perintis Kebawah.....	38
Gambar 2. 15 Perkembangan Langkah Terahir	39
Gambar 2. 16 Jarak Rambatan	39
Gambar 2. 17 Grounding	42

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian	45
------------------------------------	----

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia ialah negara yang dilalui oleh garis ekuator yang menyebabkan frekuensi hari guruh (*Thunderdays*) per tahunnya sangat tinggi jika dibandingkan dengan negara lain, yaitu mencapai 100 - 200 hari guruh setiap tahun. Kilat merupakan fenomena alam yang muncul karena terakumulasinya muatan negatif di awan dan muatan positif di atas permukaan bumi yang terinduksi, sehingga terciptalah kilat Arus listrik yang terjadi antara permukaan bumi dan awan disebut medan listrik. Perbedaan potensial yang semakin tinggi antara muatan yang ada di permukaan bumi dan awan menyebabkan pelepasan muatan listrik yang dikenal sebagai petir (*Karta et al., 2020*).

Saat kilat menyambar, dampaknya bisa sangat merugikan manusia. Kilat bisa merusak konstruksi bangunan, menyebabkan kebakaran, kerusakan pada peralatan, bahkan kematian. Meskipun pada peralatan elektronik, arus yang ditimbulkan oleh kilat tidak merusak langsung, tetapi bisa memperpendek umur pakai peralatan tersebut. Saat ini, banyak peralatan yang semakin canggih dan menggunakan komponen elektronik serta mikroprosesor yang sangat sensitif terhadap impuls elektromagnetik yang dihasilkan oleh kilat secara tidak langsung. Oleh karena itu, diperlukan sistem proteksi kilat yang handal pada bangunan untuk mengurangi kemungkinan kerugian besar yang dapat terjadi (*Karta et al., 2020*).

Dalam usaha melindungi bangunan dari kerusakan yang disebabkan oleh petir, ada dua sistem proteksi yang tersedia, yaitu proteksi internal dan eksternal. Sistem proteksi eksternal bertujuan untuk melindungi bangunan dari sambaran langsung yang dapat merusak secara fisik, sementara sistem proteksi internal bertujuan untuk melindungi peralatan di dalam bangunan dari kerusakan akibat sambaran petir yang tidak langsung.

Karena sifat petir yang merusak, tindakan pencegahan diperlukan untuk meminimalkan atau bahkan menghilangkan risiko sambaran petir langsung atau tidak langsung. Untuk mengurangi risiko kerusakan, sistem proteksi petir yang andal dan efektif telah dipasang. Seperti adanya penangkal petir eksternal pada

suatu bangunan, misalnya pada gedung perkantoran PT PLN NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN, guncangannya sangat besar, jika terkena petir langsung dapat merusak bangunan itu sendiri dan sistem itu sendiri, yang juga berakibat fatal bagi makhluk hidup di sekitar gedung, sehingga diperlukan sistem penangkal petir eksternal untuk meminimalkan gangguan di gedung pada lokasi penelitian.

Berdasarkan hal yang dikemukakan diatas, penulis akan mencoba untuk mempelajari dan menyimpulkan hasil analisis sistem proteksi eksternal untuk meminimalisir gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar resiko sambaran yang terjadi pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?
2. Bagaimana radius proteksi pada gedung setelah melakukan analisis kebutuhan penangkal petir dengan metode bola bergulir pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini dapat terfokus pada masalah yang telah dipaparkan maka penulis perlu membatasi pembahasan pada penelitian ini. Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui besar resiko sambaran yang terjadi pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan
2. Melakukan analisis perhitungan nilai radius proteksi pada gedung setelah melakukan analisis kebutuhan penangkal petir dengan metode bola bergulir pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Menghitung seberapa besar resiko sambaran yang terjadi pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan
2. Menganalisis perhitungan nilai radius proteksi pada gedung setelah melakukan analisis kebutuhan penangkal petir dengan metode bola bergulir pada gedung perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai bahan untuk menambah pengetahuan mengenai sistem proteksi pada gedung
2. Memberikan masukan dalam meningkatkan pengetahuan dan pemahaman tentang proteksi petir eksternal dengan metode bola bergulir
3. Sebagai sumbangsih pemikiran dan wawasan tentang proteksi gedung pada PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini di uraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini mmenjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori-teori penunjang keberhasilan di dalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam perancangan sistem proteksi berbasis arduino tersebut.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang letak lokasi penelitian, fungsi-fungsi dari alat dan bahan penelitian, tahapan-tahapan yang dilakukan dalam

pengerjaan, tata cara dalam pengujian, dan struktur dai langkah-langkah pengujian.

BAB IV ANALISIS DAN HASIL PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis hasil dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat didalamnya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari penelitian dan penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Sebelumnya fenomena petir telah diketahui jauh pada saat masa prasejarah di mana orang-orang pada masa itu mengaitkan fenomena petir dengan aktivitas supranatural. Penelitian mengenai fenomena petir diawali dengan hasil temuan Benjamin Franklin mengenai hubungan antara listrik dan petir. Franklin menemukan bahwa adanya kesamaan antara sambaran yang dihasilkan dari sambaran petir dengan percikan kecil dari listrik. Dan dari kedua percikan tersebut menghasilkan cahaya dan suara tertentu yang juga keduanya menjalar melalui jalur zig-zag.

Menurut Fadlilah (2014), telah melakukan penelitian mengenai simulasi distribusi tegangan petir di jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV penyulang Kentungan 2 Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sambaran petir pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV agar efek sambaran petir bisa diantisipasi sehingga peralatan dan komponen yang ada di distribusi tidak rusak. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sambaran petir yang terjadi di salah satu fasa menimbulkan tegangan lebih yang nilainya mencapai 2 kali tegangan puncak petir. Di fasa yang tidak tersambar muncul tegangan lebih nilainya 1% - 76 % lebih kecil dari tegangan puncak petir. Perubahan nilai tegangan puncak petir, waktu muka, dan waktu ekor gelombang impuls petir berpengaruh pada tegangan lebih yang dihasilkan.

Potapenko (2014), telah melakukan penelitian mengenai pemodelan matematis dari berbagai skema sistem proteksi petir (LPS) salah satu contohnya yaitu pada menara baja saluran transmisi tenaga. Metode dari pemodelan matematis dilakukan dengan menggunakan persamaan elliptic (Metode MMSEE) dengan memperhatikan fungsi aliran listrik yang digunakan untuk perhitungan terhadap garis garis kuat medan listrik. Keutamaan dari penerapan metode MMSEE pada prakteknya adalah sangat penting untuk dapat menghitung kuat aliran listrik dengan memperhatikan elektroda pengetanahan dekat bagian yang ditanam dari tiang beton bertulang yang direpresentasikan pada kondisi hujan. Penerapan metode MMSEE

dapat menyelesaikan permasalahan tegangan langkah pada permukaan tanah, dengan menaikkan kedalaman dari elektroda pengetanahan maka akan menghasilkan permasalahan yang berbeda beda.

Yang dkk (2020), telah melakukan sebuah penelitian untuk mengevaluasi arus saluran basis dan kecepatan sambaran balik menggunakan pengukuran “far electric fields” diatas dua lapis permukaan horizontal tanah, dimana arus petir sepanjang basis petir menggunakan pemodelan saluran transmisi yang dimodifikasi dengan arus linear yang menghilang dengan pemodelan (MTLL). Tujuan dari metode ini sudah divalidasi dengan menggunakan dua buah pengukuran medan listrik yang diperoleh dari petir yang dipacu, kecepatan digunakan sebagai variabel sepanjang basis petir dan nilai rata-rata sepanjang basis petir. Hasil menunjukkan bahwa arus basis yang dievaluasi cukup sesuai dengan arus basis yang diukur, dan nilai rata-rata kecepatan sambaran yang dievaluasi 6 adalah diantara $1/3$ sampai $2/3$ dari kecepatan cahaya pada ruang hampa. Hasil kombinasi antara model MTLL dan model dua-lapis permukaan tanah lebih cocok untuk mengevaluasi arus basis dan kecepatan sambaran.

Penelitian Hakim, dkk (2021), menjelaskan Masjid Raya Mujahidin memiliki struktur bangunan yang tinggi, dimana 4 buah tower masing-masing memiliki tinggi ± 62 meter dan kubah yang berada di tengah tinggi ± 40 meter. Mengingat hari guruh di wilayah kota Pontianak yang sangat tinggi yaitu 219 hari/tahun, maka masjid raya sangat rentan akan sambaran petir. Oleh karena itu untuk menghindari dampak dari sambaran petir, masjid raya Mujahidin sangat perlu dipasang proteksi petir eksternal. Metode yang digunakan dalam menentukan proteksi petir adalah metode Bola Bergulir (Rolling Sphere Method). Setelah melakukan simulasi dengan metode bola bergulir maka jumlah finial yang digunakan sebanyak 5 buah dengan tinggi 2 meter dan penampang konduktor penyalur yang digunakan adalah kabel BC 50 mm² . Sistem pembumian yang digunakan adalah Single Rod Grounding dengan panjang batang pembumian 6 meter dengan resistansi 0,6 – 1,2 Ohm.

Penelitian Hosea,dkk (2020), menjelaskan tentang Penentuan terminasi udara menggunakan tiga metode yaitu metode jala, sudut proteksi dan bola bergulir pada gedung W Universitas Kristen Petra yang membutuhkan tambahan sistem proteksi petir berdasarkan analisis dengan metode bola bergulir. Hasil dari kesimpulan bila bahwa radius bola bergulir yang digunakan pada gedung W UK. Petra Surabaya sebesar 45 meter maka arus petir yang $\geq 160,06$ kA akan ditangkap oleh sistem proteksi petir. Bangunan gedung W Universitas Kristen Petra Surabaya masih membutuhkan tambahan penangkap petir sesuai dengan analisis menggunakan metode bola bergulir sehingga arus yang akan ditangkap oleh sistem proteksi petir adalah yang $\geq 3,39$ kA.

Penelitian Kurniasari,dkk (2022), menjelaskan bahwa gedung OP Mall yang terletak pada daerah Jakabaring merupakan gedung yang memiliki ketinggian yaitu 30 meter. Gedung ini memiliki indeks perkiraan akan bahaya petir (R) sangat besar yaitu 16 sehingga sangat perlu untuk memiliki sistem proteksi petir. Efisiensi sistem proteksi petirnya adalah 87,4 %. Dengan II-2 perhitungan berdasarkan penempatan terminasi udara yaitu dengan menggunakan metode Bola Bergulir, dari perhitungan didapat luas area proteksi (A_p) sebesar 6358,5 m² (34,355 %) dari luas area 18512 m², dan radius proteksi (R_p) 45 meter, sehingga dibutuhkan penyalur petir sebanyak 3 buah.

Penelitian Rahmadan (2021), menjelaskan bahwa gedung Fakultas Ushuluddin UIN Suska Riau memiliki atap yang berbentuk rumit yaitu berbentuk vertikal, horizontal dan kerucut. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan penempatan terminasi udara pada gedung Fakultas Ushuluddin UIN Suska Riau. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere Method*). Hasil dari perhitungan berdasarkan penempatan terminasi udara dengan menggunakan metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere Method*) didapat setelah dilakukan perancangan dengan menambahkan panjang terminasi udara sebesar 2 meter dan merubah tempat penempatannya, sehingga mampu melindungi 135,445% dari luas daerah bangunan. Pada sistem pembumian dilakukan penanaman batang elektroda sepanjang 55 m, sehingga didapatlah nilai tahanan

pentanahan sebesar 4,58 Ohm, yang mana nilai tersebut sudah memenuhi standar sistem pembumian dibawah 5 Ohm. Berdasarkan penelitian-penelitian diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang sistem proteksi petir eksternal pada bangunan Islamic Center UIN Suska Riau juga menggunakan Metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere Method*). Bentuk bangunan yang seolah meruncing ke atas membuat bangunan ini membutuhkan satu penangkal petir di puncak bangunan. Penangkal petir pada bangunan Islamic Center UIN Suska Riau yang terpasang saat ini adalah penangkal petir konvensional berupa batang tembaga tegak dengan jumlah hanya satu buah, sehingga penangkal petir konvensional ini belum optimal. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan merancang sistem terminal udara (penangkal petir) dengan Metode Bola Bergulir (*Rolling Sphere Method*).

Kehandalan suatu sistem tenaga listrik antara lain ditentukan oleh frekuensi pemadaman yang terjadi dalam sistem tersebut. Pemadaman yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasanya disebabkan oleh gangguan, sehingga untuk mengatasi gangguan dan meningkatkan kehandalan sistem diperlukan sebuah mekanisme yang dapat menghindari frekuensi pemadaman yang terlalu sering dalam jangka waktu yang lama. Mekanisme ini dalam sistem kelistrikan dikenal dengan istilah sistem proteksi (pengaman sistem). (Rimbawati & Yusniati, 2019)

2.2 Landasan teori

2.2.1 Petir

Petir adalah suatu cahaya yang dihasilkan oleh energi listrik alami yang terjadi antara awan atau awan ke bumi. Sering terjadi pada saat cuaca mendung atau badai. Petir merupakan fenomena alam yaitu proses pelepasan arus listrik yang terjadi di atmosfer. Peristiwa pelepasan arus ini terjadi karena terbentuknya konsentrasi muatan positif dan negatif di dalam awan atau perbedaan muatan dengan permukaan bumi. Sedangkan, definisi petir menurut (Al-Faruq, 2018), petir merupakan suatu fenomena listrik secara alamiah dalam atmosfer bumi yang tidak tahu dan tidak dapat dicegah kapan waktunya, petir terjadi akibat terlepasnya muatan listrik positif (proton) dan listrik negatif (elektron) di dalam awan. Pada umumnya,

fenomena ini terjadi ketika muatan negatif terkumpul di bagian bawah dan menyebabkan muatan positif terinduksi dari atas permukaan tanah, sehingga terbentuk medan listrik antara tanah dan awan. Yang mendasari proses terjadinya petir terdapat dua teori, yaitu:

a. Proses Ionisasi

Sambaran petir adalah suatu fenomena alam yang terjadi akibat dari proses terlepasnya muatan listrik (Electrical Discharge) di awan, dikarenakan di awan ada ion-ion positif (+) dan ion-ion negatif (-) yang berkumpul, ion-ion listrik tersebut muncul akibat dari awan yang saling bergesekan dan akibat dari proses ionisasi tersebut membuat perubahan bentuk zat cair (air) menjadi zat gas dan sebaliknya, bahkan dari bentuk zat padat (es) menjadi zat cair (air). Ion bebas yang terdapat di permukaan awan, akan bergerak mengikuti pergerakan hembusan angin. Awan-awan tersebut akan berkumpul pada suatu tempat, dan jika awan bermuatan ion tadi memiliki beda potensial yang cukup besar, maka akan terjadi sambaran petir pada permukaan bumi.

b. Gaya Gesek Awan

Bermula dari pergerakan awan akan mengikuti pergerakan arah angin yang berhembus, proses Bergeraknya awan ini akan terjadi ketika ada gesekan antara awan-awan satu dengan yang lainnya, yang mana nantinya akan memunculkan elektron-elektron bebas yang dapat mengisi penuh permukaan awan. Secara sederhana, proses ini dapat disimulasikan seperti pada sebuah potongan kertas yang tertarik oleh penggaris, akibat dari proses gesekan yang ditimbulkan antara penggaris dengan rambut. Di suatu saat, ketika awan-awan ini berkumpul di suatu tempat, pada saat inilah sambaran petir dimungkinkan akan berlangsung, karena ion-ion elektron bebas ini saling berikatan satu dengan yang lainnya. Sehingga memiliki beda potensial yang cukup besar untuk menyambar permukaan bumi. Ancaman ketika terjadi sambaran petir pada peralatan-peralatan instalasi listrik harus diwaspadai, dan usaha

dalam melindungi instalasi yang terpasang, bangunan yang berisikan peralatan instalasi elektronik seperti pada bank, industri, militer, instalasi penting, bahkan kewaspadaan perorangan pun elektronik harus ditingkatkan. Untuk tempat yang jauh lebih dari 1,5 km, sambaran petir dapat merusak berbagai peralatan elektronika dan sistem elektronika, seperti telekomunikasi kantor, instrumentasi dan peralatan lainnya.

Petir termasuk fenomena pelepasan muatan listrik di udara yang terjadi antara awan dengan awan, antara pusat-pusat muatan di dalam awan, dan antara awan dengan tanah. Dari ketiga kemungkinan tersebut, pelepasan muatan lebih sering terjadi antara awan dan awan serta di dalam awan, dibandingkan antara awan dan tanah. Meskipun kejadian petir antara awan dan tanah lebih jarang, namun dampaknya cukup besar untuk merusak objek di permukaan tanah. Secara umum, petir terjadi sebagai hasil dari proses di atmosfer yang menyebabkan akumulasi muatan pada awan (Makmur Saini, 2019).

Perbedaan ketinggian antara permukaan atas dan permukaan bumi pada awan bisa mencapai jarak sekitar 8 km dengan suhu bagian bawah sekitar 13 C dan suhu bagian atas sekitar -65 C. Oleh karena itu, dalam awan tersebut akan terjadi pertumbukan kristal es yang kemudian terpisah menjadi muatan positif dan muatan negatif akibat gesekan. Fenomena pemisahan muatan ini menjadi penyebab utama terjadinya sambaran petir. Pelepasan muatan listrik dapat terjadi di dalam atmosfer, di antara lapisan atmosfer dan permukaan bumi, terdapat ketergantungan pada kemampuan udara untuk menahan perbedaan potensial yang terjadi (*Christian & Negara, 2023*).

Petir merupakan fenomena alam yang memberikan dampak yang sangat membahayakan bagi objek yang tersambar maupun objek yang ada di sekitar sambaran. Sambaran petir dapat terjadi antara awan dengan bumi, awan dengan awan, maupun sambaran yang terjadi di dalam awan [1]. Sambaran awan dengan bumi memiliki dampak yang paling besar dibandingkan dengan jenis sambaran lainnya. Bangunan bertingkat tinggi (menjulang tinggi) dan bangunan yang berada

di area terbuka memiliki risiko sambaran petir yang lebih tinggi dibandingkan dengan bangunan non-bertingkat dan area yang padat penduduk. [2]. Sistem pentanahan/penangkal petir merupakan suatu perangkat instalasi yang berfungsi untuk mengamankan arus lebih dan tegangan lebih listrik yang disebabkan oleh petir atau gangguan listrik internal dengan cara melepaskan muatan tersebut ke tanah [3]. Teori yang berlaku umum mengenai petir adalah bahwa awan terdiri dari daerah yang bermuatan positif dan negatif. [4] Parameter petir menyatakan karakteristik atau gambaran dari petir itu sendiri (Rimbawati et al., 2022). Parameter tersebut antara lain:

1. Bentuk gelombang arus petir
2. Kerapatan sambaran petir (N_g).
3. Arus puncak (I_{max})
4. Kecuraman gelombang (Steepness)
5. Hari Guntur

Proses pengionan pada awan petir akan membentuk medan listrik di antara awan dan bumi. Jika medan listrik tersebut mencapai level breakdown sekitar 100 juta volt, elektron akan dilepaskan dari awan ke bumi (downward leader) dalam bentuk lidah petir yang terjadi secara bertahap. Pembentukan downward leader dengan kecepatan tinggi menyebabkan medan listrik antara ujung step leader dan permukaan bumi meningkat. Hal ini menyebabkan terbentuknya upward leader dari objek tertinggi di permukaan bumi. Proses ini berlanjut hingga keduanya bertemu di titik tertentu di ketinggian tertentu.



Gambar 2. 1 Penampakan Petir

Petir sebenarnya merupakan loncatan muatan elektrostatis, banyak terjadi pada daerah panas dan lembab sebagai akibat adanya angin ke atas yang menghasilkan awan konveksi (awan cumulonimbus) sehingga membentuk awan bermuatan listrik. Bila muatan awan melebihi dari kritis potensialnya maka akan terbentuk saluran sebagai akibat discharge muatan yang dapat terjadi dari awan ke awan dan awan ke tanah yang disebut “Stepped Leader”. Jika Leader mendekati bumi, kenaikan medan listrik yang cepat menyebabkan loncatan muatan (upward streamer), dengan demikian saluran ionisasi antara awan dan bumi telah lengkap terbentuk dan akan memudahkan terjadinya sambaran ulang yang biasa disebut Return Stroke.

Dalam kajian di bidang teknik elektro, petir berdampak besar pada sistem kelistrikan dan perangkat elektronik. Ketika terjadi sambaran, petir dapat menghasilkan lonjakan arus yang sangat tinggi, berpotensi merusak alat dan infrastruktur listrik. Selain itu, sambaran ini juga dapat menimbulkan kebakaran di bangunan atau lingkungan sekitarnya, yang berisiko menimbulkan kerugian material dan membahayakan keselamatan. Gangguan pada jaringan listrik menjadi isu penting, sering kali mengakibatkan pemadaman dan ketidakstabilan pasokan

energi. Oleh karena itu, penerapan sistem perlindungan yang memadai sangat diperlukan untuk mengurangi risiko yang ditimbulkan oleh petir.

Jika pada suatu daerah terdapat udara yang lembab, terjadinya pergerakan keatas dan terdapatnya inti higroskopis maka akan terbentuk awan bermuatan. Sumber kelembaban dapat berasal dari konsentrasi air yang banyak dan luas seperti laut, dan sumber setempat seperti danau dan sungai disekitar terbentuknya awan. Sedangkan gerakan udara keatas, umumnya terjadi karena naiknya udara akibat pemanasan permukaan bumi oleh sinar matahari menyebabkan terjadinya kondensasi. Disamping itu dapat terjadi juga gerakan keatas karena angin melalui bukit dan gunung atau kontur permukaan tanah sehingga terjadi kondensasi secara orografis, atau pertemuan dua massa udara panas dan dingin menyebabkan naiknya udara sehingga terjadi kondensasi. Adanya partikel Aerosol dan kelembaban menyebabkan terbentuknya awan petir.

2.2.2 Karakteristik Petir

Petir diuraikan melalui beberapa aspek kunci, termasuk panjang, durasi, dan intensitas. Panjang petir bisa mencapai beberapa kilometer, sementara durasi sambaran biasanya berlangsung dalam hitungan milidetik. Intensitas arus listrik dalam petir sangat tinggi, sering kali mencapai ribuan ampere, sehingga menghasilkan energi yang cukup untuk merusak infrastruktur listrik dan perangkat elektronik. Selain itu, petir dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti petir awan-ke-tanah dan petir antar awan, yang mempengaruhi pola penyebarannya. Memahami karakteristik ini sangat penting untuk merancang sistem perlindungan yang efektif terhadap dampak petir pada sistem kelistrikan. (Brown, 2021)

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan. Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran

petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi,2021).

Pada lapisan atmosfer, terdapat berbagai macam gas penyusun udara yang ada di lapisan atmosfer, diantaranya Nitrogen (78,08%), Oksigen (20,95%), Argon (0,93%), Karbondioksida (0,0340%), Neon (0,0018%), Helium (0,00052%), Ozon (0,000006%), Hydrogen (0,00005%), Krypton (0,00011%), Metan (0,00015%) dan Xenon yang kecil sekali (Susilo Prawirowardoyo: 1996). Dari berbagai unsur yang ada di atmosfer, yang paling mendominasi adalah gas nitrogen dan oksigen. Karena ionisasi udara oleh radiasi energi tinggi dari sinar kosmik dan gas radioaktif yang dihasilkan bumi, maka setiap sentimeter kubik udara pada permukaan tanah terdapat kurang lebih 10 elektron bebas. Secara umum, udara merupakan insulator yang baik dan dapat mempertahankan sifatnya tersebut sampai pada batas nilai 3×10^6 V/m pada kondisi atmosfer standar ($T=293$ K dan $P= 1$ atm). Saat medan listrik melalui batas tersebut, udara berubah sifat menjadi media konduktor sehingga arus listrik dapat mengalir dalam bentuk percikan. (Cooray, 2020)

Dalam proses terjadinya sambaran petir, pelepasan sambaran petir diawali dengan pelepasan perintis atau stepped downward leader. Gerakan ke bawah ini bertahap sampai dekat ke permukaan tanah, sehingga muatan positif di permukaan tanah akan terinduksi oleh muatan negatif..yang..dibawa oleh stepped downward leader..tersebut, terutama untuk benda-benda yang terlihat..menonjol..dari permukaan..tanah, yang mengakibatkan beda tegangan antara dasar awan dengan tanah semakin besar. Jika tegangan awan dan tanah memiliki perbedaan tegangan yang cukup besar, maka yang terjadi adalah muatan negatif elektron dari awan akan terlepas ke permukaan tanah dan saat itulah mulai lintasan (*steamer*) pelepasan muatan yang biasanya disebut lintasan pandu (*pilot steamer*) dari awan ke permukaan tanah. Ketika kedua muatan yang terakumulasi ini saling tarik menarik, maka dalam jumlah yang besar muatan positif akan bergerak ke atas kemudian menerima gerakan.stepped downward leader yang bergerak ke bawah, akhirnya akan terjadi kontak pertemuan antara keduanya. Muatan.positif yang bergerak ke atas tersebut membentuk sebuah lintasan (*streamer*) yang menuju ke atas (*upward*

moving streamer), atau yang biasa disebut sebagai sambaran balik (*return stroke*) yang bertujuan untuk menyeimbangkan beda potensial. (Dehn, 2022)

Apabila arus dari sambaran balik telah berhenti, dan ternyata di bagian lain dari awan masih ada muatan yang cukup untuk sambaran berikutnya, maka terjadilah sambaran yang kedua. Secara langsung, sambaran yang kedua ini akan mengalir dari awan ke tanah melalui lintasan (*streamer*) yang telah terbentuk dari sambaran pertama, tanpa adanya percabangan. Pada sambaran kedua ini biasanya disebut juga sebagai pelopor panah (*dart leader*), yang mana diikuti bersamaan dengan sambaran balik (*return stroke*) yang kedua. Sambaran pelopor panah (*dart leader*) dan sambaran balik (*return stroke*) yang mengikutinya disebut dengan sambaran urutan (*multiple stroke*) (Gambar

Petir merupakan sebuah fenomena alam yang terjadi saat cuaca mendung, hujan maupun badai. Pada fenomena ini muncul kilatan cahaya listrik yang timbul antara awan dengan awan maupun awan dengan tanah disertai suara gemuruh. Pada dasarnya fenomena petir merupakan peristiwa pelepasan suatu muatan listrik di atmosfer. Petir hanya dapat dihasilkan oleh awan cumulonimbus. Karena didalam awan tersebut terdapat partikel bermuatan positif dan negatif. Partikel positif akan bergerak keatas dan partikel negatif berkumpul dibawah awan Panjang sebuah petir rata-rata mencapai 5 km, dengan kecepatan menurun dari awan sebesar 3% dari kecepatan cahaya dan kecepatan pelepasan muatan muatan balik sebesar 10% dari kecepatan cahaya, dimana diketahui kecepatan cahaya adalah 299.792,46 km/detik.

2.2.2.1 Formasi Awan Badai

Petir terbentuk akibat adanya peningkatan pemisahan muatan listrik secara alami didalam suatu awan badai. Badai gelombang udara merupakan fenomena meteorologi yang muncul akibat interaksi antara arus udara dengan suhu dan tekanan yang berbeda. Dalam kajian di bidang teknik elektro, fenomena ini dibahas karena dampaknya yang besar terhadap sistem kelistrikan dan komunikasi. Badai gelombang udara dapat mengakibatkan perubahan drastis dalam kecepatan dan arah angin, yang bisa merusak infrastruktur listrik serta antena komunikasi. Selain itu,

badai ini juga dapat memicu terjadinya petir, yang menambah risiko kerusakan lebih lanjut. Pemahaman dan analisis tentang badai gelombang udara sangat penting untuk merancang sistem perlindungan yang efisien, serta untuk mengurangi gangguan pada jaringan listrik dan sistem komunikasi. Ada 2 jenis awan badai, yang membangkitkan muatan listrik statis, Badai Panas (*Heat Storms*) dan Badai Gelombang Udara (*Frontal Storms*). Badai Panas atau badai Konvektif (*Convective Storms*) banyak terjadi di daerah tropis dan pegunungan.

Badai gelombang udara dapat mengganggu operasi jaringan kelistrikan dan sistem komunikasi secara keseluruhan. Fluktuasi yang cepat dalam kondisi cuaca dapat menyebabkan gangguan pada pasokan energi, serta mempengaruhi kualitas sinyal komunikasi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang karakteristik badai gelombang udara sangat penting untuk merancang sistem perlindungan yang efisien dan untuk mengurangi dampak negatif yang mungkin terjadi. Pengembangan teknologi untuk memprediksi dan memitigasi efek badai ini menjadi krusial bagi keberlangsungan infrastruktur kelistrikan dan komunikasi.

Pada hari dengan suhu tinggi, udara yang hangat naik keatas dari permukaan tanah yang hangat lalu digantikan oleh udara yang lebih dingin dari atas. Proses konveksi semakin menurunkan suhu udara yang naik keatas yang kemudian membentuk awan, pada awalnya dalam bentuk tetesan air, dan pada ketinggian yang lebih tinggi sebagai kristal es. Dengan cara seperti ini, satu atau beberapa 'sel' awan terbentuk , dengan ketinggian puncaknya mencapai 12km.

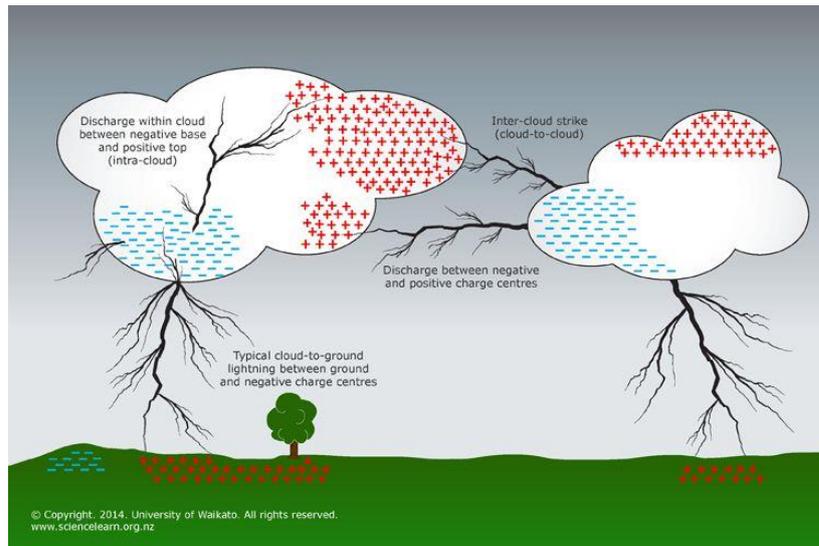


Gambar 2. 2 Heat Storms

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

2.2.2.2 Pemisahan Muatan

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



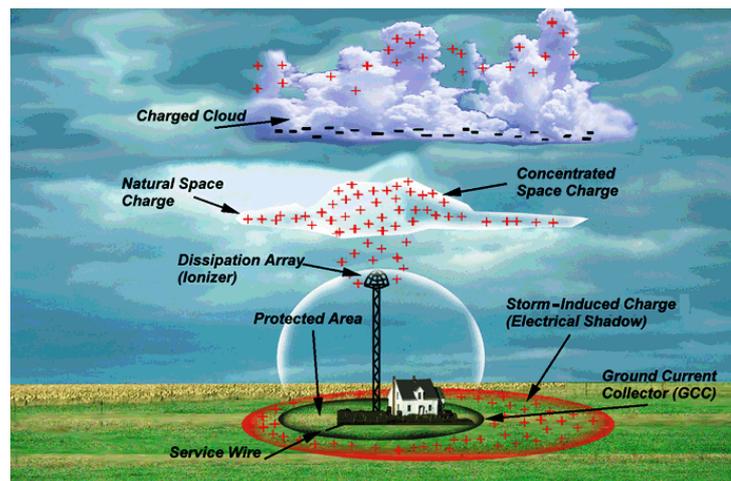
Gambar 2. 3 Pemisahan Muatan

Distribusi partikel ini dalam keadaan normal meningkatkan muatan negatif di dasar awan dan kemudian meningkatkan muatan positif pada permukaan tanah. Permukaan tanah ini dapat hanya berjarak 1km saja dari dasar awan. Peningkatan muatan ini terus terjadi hingga perbedaan tegangan antara permukaan tanah dan dasar awan menjadi sangat besar, menyebabkan breakdown pada tahanan udara (*air resistance*) dan menimbulkan pelepasan muatan petir (*lightning discharge*).

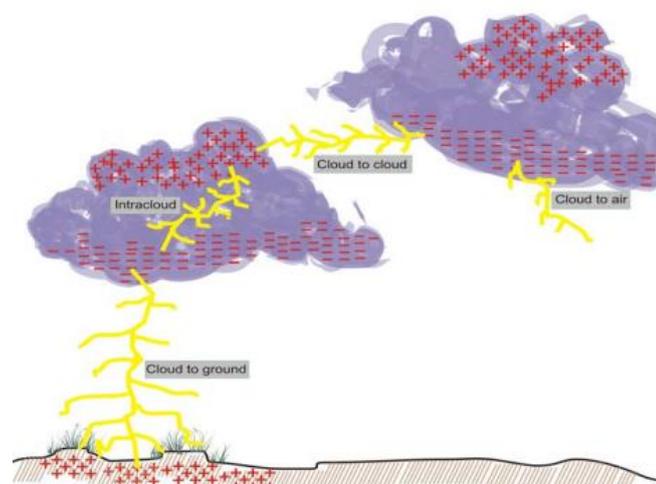
2.2.2.3 Pelepasan Muatan (Peluhan) Petir

Peluhan petir yang diawali dengan pengembangan sambaran perintis (*stepped downward leader*). Gerakan ke bawah ini bertahap sampai dekat ke tanah, sehingga muatan negatif yang dibawa oleh *stepped leader* tersebut memperbesar induksi muatan positif di permukaan tanah terutama pada benda-benda yang menonjol dari permukaan tanah, akibatnya gradien tegangan antara dasar awan dengan tanah semakin besar. Apabila kedua akumulasi muatan ini saling tarik, maka muatan positif dalam jumlah yang besar akan bergerak ke atas menyambut gerakan *stepped leader* yang bergerak kebawah, akhirnya terjadi kontak pertemuan antara keduanya. Gerakan ke atas muatan positif tersebut membentuk suatu streamer yang

bergerak ke atas (*upward moving streamer*), atau yang lebih populer disebut sebagai sambaran balik (*return stroke*) yang menyamakan perbedaan potensial. Sambaran balik inilah cahaya terang yang kita lihat. Peluahan petir seperti inilah yang banyak terlihat, dan diistilahkan sebagai sambaran turun negatif (*negative descending stroke*).



Gambar 2. 4 Proses terjadinya Petir



Gambar 2. 5 Proses Terjadinya Sambaran Petir

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



Gambar 2. 6 Sambaran Naik Ke Bumi

Mengingat letak garis geografis di Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia beriklim tropis, yang mengakibatkan Indonesia memiliki hari guruh rata-rata per tahun sangat tinggi. Menurut pengertian dari *World Meteorologi Organization* (W.M.O) bahwa hari guruh adalah hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km atau lebih dari stasiun pengamatan. Hari guruh ini juga dapat disebut hari guntur (*thunder stormdays*).” Menurut hasil..data. pantauan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan..Geofisika (BMKG) yang menunjukkan ada beberapa wilayah di Indonesia yang mempunyai jumlah hari guruh per tahunnya yang..cukup tinggi, antara lain yaitu Palangkaraya (Kalimantan Tengah), sebagian wilayah Sumatra Utara, daerah Jawa Barat, sebagian wilayah Sulawesi Selatan yang mempunyai hari guruh lebih dari 200 hari

per tahun. Menurut 12 Stasiun Geofisika, bahwa untuk Daerah Istimewa medan pada tahun 2018 jumlah dari hari guruh per tahunnya mencapai 46 per tahun. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi jumlah hari guruh yang tinggi pada suatu wilayah, yaitu curah hujan yang tinggi.

Menurut Mardi, Dedy (2022) bahwa sambaran petir dapat menyebabkan surja petir yang merupakan salah satu faktor yang menimbulkan tegangan lebih sementara pada saluran atau sistem instalasi listrik. Surja petir adalah gejala tegangan lebih sementara yang disebabkan oleh sambaran petir yang mengenai suatu sistem kelistrikan baik langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu diperlukan sistem perlindungan terhadap gangguan petir untuk Gedung Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Telah disebutkan sebelumnya bahwa proses terjadinya sambaran petir yang dipengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi fluktuatif di atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbedabeda. Misalnya, muatan yang bergerak secara horizontal yang terjadi muatan tersebut tidak akan terpisah sehingga akan menimbulkan pelepasan muatan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah perubahan atau petirnya juga terbalik. (Dedy, 2022)

2.3 Kerusakan Akibat Sambaran Petir

Sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan pada infrastruktur kelistrikan dan perangkat elektronik. Dalam jurnal teknik elektro, dijelaskan bahwa ketika petir menyambar, energi yang dilepaskan dapat mencapai ribuan ampere, yang cukup untuk merusak komponen elektronik, memicu kebakaran, dan merusak sistem kelistrikan. Kerusakan ini tidak hanya mengakibatkan biaya perbaikan yang tinggi tetapi juga dapat menyebabkan gangguan pasokan listrik, mempengaruhi operasional perusahaan dan layanan publik. Oleh karena itu, pemahaman tentang mekanisme sambaran petir dan

dampaknya sangat penting dalam perencanaan dan perlindungan sistem kelistrikan. (Smith, 2017).

Di samping kerusakan fisik, sambaran petir juga dapat menimbulkan risiko keselamatan bagi manusia. Kecelakaan akibat petir dapat menyebabkan cedera serius atau bahkan kematian, terutama bagi individu yang tidak mendapatkan perlindungan yang memadai. Jurnal tersebut menekankan pentingnya penerapan sistem perlindungan petir yang efektif, seperti penangkal petir dan grounding yang baik, untuk mengurangi risiko kerusakan dan meningkatkan keselamatan. Melalui pengembangan teknologi yang lebih baik dan sistem mitigasi risiko, diharapkan dampak negatif sambaran petir terhadap infrastruktur dan keselamatan dapat diminimalkan. Sambaran petir dapat mengakibatkan kerusakan dan mengakibatkan efek kerugian bagi objek-objek antara lain :

2.3.1 Sambaran Petir Langsung Terhadap Bangunan

Petir yang tiba-tiba mengenai struktur bangunan rumah, kantor, atau gedung, dapat sangat membahayakan bangunan dan isinya. Hal ini dapat menimbulkan kebakaran, kerusakan pada perangkat elektronik, bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, pemasangan instalasi penangkal petir wajib dilakukan pada setiap bangunan. Penanganannya dilakukan dengan memasang terminal penerima petir dan instalasi pendukung lainnya yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Jika petir langsung mengenai manusia, hal tersebut dapat menyebabkan luka, cacat, bahkan kematian. Banyak kejadian petir yang langsung mengenai manusia, terutama di lingkungan terbuka (Christian & Negara, 2023).



Gambar 2. 7 Kerusakan Bangunan Akibat Sambaran Petir

2.3.2 Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik

Sambaran petir melalui jaringan listrik ialah salah satu risiko utama yang dihadapi oleh infrastruktur kelistrikan. Dalam jurnal teknik elektro, dijelaskan bahwa ketika petir menyambar, arus listrik yang sangat tinggi dapat mengalir melalui sistem distribusi listrik, menyebabkan lonjakan arus yang dapat merusak transformator, peralatan, dan komponen lainnya. Fenomena ini tidak hanya mengakibatkan kerusakan fisik tetapi juga dapat menyebabkan pemadaman listrik yang berkepanjangan, yang berpotensi memengaruhi layanan penting seperti rumah sakit dan sistem transportasi. Oleh karena itu, memahami mekanisme sambaran petir dan dampaknya pada jaringan listrik sangat penting untuk merancang sistem perlindungan yang efektif.

Serangan petir yang membahayakan sering terjadi ketika kilat menyambar dan menimpa sesuatu di luar bangunan, tetapi berdampak pada jaringan listrik di dalamnya. Ini disebabkan oleh penggunaan kabel udara terbuka pada sistem jaringan distribusi listrik/PLN yang terletak di ketinggian yang sangat tinggi. Jika kilat menyambar pada kabel terbuka ini, arus kilat akan langsung mengalir ke pengguna. Untuk mengatasi hal ini, perangkat arrester harus dipasang sebagai pengaman tegangan yang lebih tinggi (*over voltage*). Instalasi surge arrester listrik ini harus dilengkapi dengan grounding system (Christian & Negara, 2023).



Gambar 2. 8 Sambaran Petir Kejaringan Listrik

2.4 Kerusakan Akibat Sambaran Petir

Sambaran Petir memiliki beberapa efek yang dapat merugikan dan berbahaya bagi manusia. Efek atau fenomena sambaran petir dibagi menjadi beberapa bagian yaitu :

2.4.1 Efek Listrik

Saat aliran petir melewati kabel penghantar (konduktor) yang mengarah ke resistansi elektroda bumi pada instalasi penangkal petir, maka akan terjadi tegangan jatuh resistif. Hal ini dapat segera meningkatkan tegangan sistem proteksi hingga mencapai nilai yang tinggi dibandingkan dengan tegangan bumi. Arus petir ini juga dapat menyebabkan gradien tegangan yang tinggi di sekitar elektroda bumi, yang sangat berbahaya bagi makhluk hidup. Sama seperti itu, induktansi sistem proteksi juga harus diperhatikan karena kemiringan muka gelombang pulsa petir. Dengan demikian, tegangan jatuh pada sistem proteksi petir terdiri dari komponen tegangan resistif dan induktif yang dijumlahkan secara aritmatik.

2.4.2 Efek Tegangan Tembus

Saat sistem pelindung petir terkena petir, ada kemungkinan titik sambaran memiliki tegangan yang lebih tinggi di sekitar unsur logam di dekatnya. Oleh karena itu, ada risiko tegangan tembus dari sistem pelindung petir yang terpasang ke struktur logam lain. Jika terjadi tegangan tembus, sebagian arus petir dapat mengalir melalui bagian internal struktur logam seperti pipa besi dan kawat. Tegangan tembus ini dapat membahayakan isi dan kerangka bangunan yang dilindungi.

2.4.3 Efek Termal

Dalam hubungannya dengan sistem perlindungan petir, efek termal pelepasan muatan petir hanya mempengaruhi kenaikan suhu konduktor yang dilalui oleh arus petir. Meskipun arusnya besar, waktu yang diperlukan sangat singkat dan pengaruhnya pada sistem perlindungan petir umumnya diabaikan. Biasanya, luas penampang konduktor instalasi penangkal petir dipilih terutama untuk memenuhi persyaratan kualitas mekanis, yang berarti sudah cukup besar untuk membatasi kenaikan suhu 1 derajat Celsius.

2.4.4 Efek Mekanis

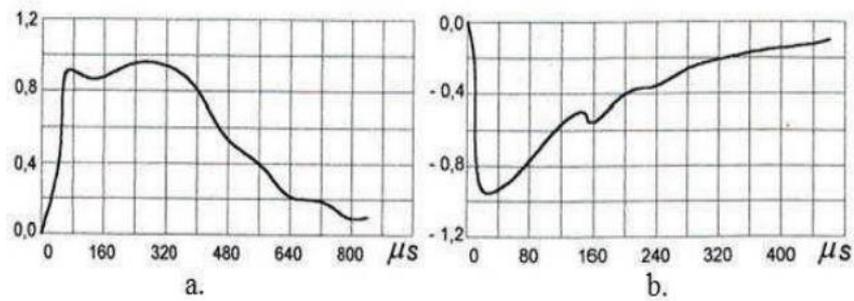
Jika arus sambaran petir melewati kabel penghantar sejajar (konduktor) yang berdekatan atau pada konduktor dengan tikungan yang tajam, maka akan terjadi gaya mekanik yang besar. Oleh karena itu, dibutuhkan ikatan mekanis yang kuat. Efek mekanik lainnya terjadi karena sambaran petir menyebabkan kenaikan suhu udara secara tiba-tiba hingga mencapai 30.000 K dan mengakibatkan ledakan pemuaian udara di sekitar jalur muatan yang bergerak. Hal ini terjadi karena konduktivitas logam digantikan oleh konduktivitas busur api listrik, yang meningkatkan energi sekitar ratusan kali lipat dan dapat menyebabkan kerusakan pada struktur bangunan yang dilindungi.

2.5 Bentuk Gelombang Petir

Bentuk arus yang dihasilkan oleh gelombang petir sangat bervariasi dan dapat memiliki dampak yang signifikan pada sistem kelistrikan. Dalam jurnal teknik elektro, dijelaskan bahwa arus petir biasanya menunjukkan bentuk gelombang yang tajam dan cepat, dengan durasi yang singkat namun intensitas yang sangat tinggi, mencapai ribuan ampere. Bentuk arus ini dikenal sebagai "arus puncak," yang berlangsung hanya dalam beberapa milidetik. Selain itu, arus tersebut juga dapat menghasilkan efek elektromagnetik yang luas, mempengaruhi peralatan dan infrastruktur di sekitarnya. Pemahaman tentang karakteristik arus petir ini penting untuk merancang sistem perlindungan yang memadai bagi jaringan listrik.

Gelombang petir juga dapat menghasilkan berbagai komponen frekuensi, yang berdampak pada fenomena seperti interferensi dan kerusakan perangkat elektronik. Jurnal tersebut mencatat bahwa analisis bentuk arus pada gelombang petir membantu dalam mengembangkan teknologi perlindungan yang lebih efektif, seperti sistem penangkal petir dan perangkat proteksi lonjakan. Dengan mengidentifikasi karakteristik dan pola arus petir, para insinyur dapat meningkatkan desain sistem kelistrikan untuk mengurangi risiko kerusakan akibat sambaran petir, serta meningkatkan keandalan infrastruktur.

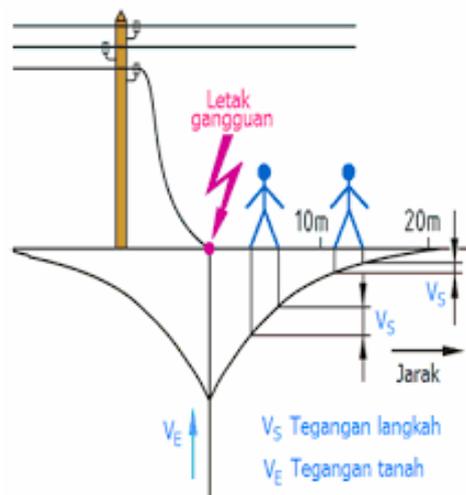
Bentuk arus pada gelombang petir digambarkan dengan besarnya arus, kecuraman (kenaikan arus), serta lamanya kejadian (durasi gelombang), dinyatakan oleh waktu ekor. Pada kenyataannya, bentuk dari gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya. Bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian lainnya, akan tetapi pada satu kejadian petir dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bisa berbeda yang cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran selanjutnya. Kejadian seperti itu terjadi terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada pada sambaran selanjutnya (subsequent stroke).



Gambar 2. 9 Osilogram bentuk Gelombang Petir

2.6 Tegangan Langkah

Gangguan pada sistem terjadi di gardu atau bangunan sekitarnya menimbulkan arus yang mengalir dari penangkal petir menuju sistem pengetanahan yang ditanam. Arus yang mengalir menyebabkan kenaikan beda potensial. Tegangan langkah adalah perbedaan tegangan yang terjadi antara kaki seseorang saat berjalan di atas permukaan tanah pada jarak 1 meter tanpa menyentuh objek apapun (Dehn-Sohne, 2022).



Gambar 2. 10 Tegangan Langkah

Muatan-muatan listrik yang bergerak akan menghasilkan sebuah arus listrik. Arus yang mengalir melewati suatu luasan material akan menghasilkan kerapatan arus listrik. Kerapatan arus (J) adalah sebuah besaran vektor yang memiliki satuan (A/m^2). Arus petir yang mengalir melewati elektroda pengetanahan akan menimbulkan arus perpindahan (ID) dan arus konduksi (IC).

Tubuh manusia sangat peka terhadap arus listrik karena itu arus gangguan sekecil apapun sangat berbahaya dan harus dihindari. Dua fungsi tubuh sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia yaitu pernafasan dan sirkulasi darah, bila salah satu fungsi tidak berfungsi lebih dari beberapa menit, otak akan kehabisan oksigen akibatnya menyebabkan kematian. Banyaknya gangguan tergantung dari besarnya arus, lamanya aliran arus, dan bagian yang dilalui arus. Arus yang mengalir ke otak atau sekitar dada, jantung dan paru-paru lebih berbahaya daripada arus mengalir melalui dua ujung jari atau dari satu kaki ke kaki yang lain (IEEE std 80-2000).

Sistem pengetanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal. Sistem terminasi bumi merupakan bagian dari sistem proteksi petir eksternal yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Oleh karena itu, sistem pengetanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik

2.7 Sistem Proteksi Petir

2.7.1 Sistem Proteksi Internal

Pelaksanaan konsep penangkal petir internal pada dasarnya adalah usaha untuk mencegah munculnya perbedaan potensial pada seluruh titik dalam instalasi atau peralatan yang dilindungi di dalam bangunan. Tindakan yang dapat diambil meliputi penyatuan potensial, pemasangan peredam tegangan dan arus, pelindung dan penyaring. Biaya yang diperlukan untuk memperoleh penangkal petir internal sangatlah tinggi karena berbagai faktor dapat menyebabkan perbedaan potensial

pada peralatan yang dilindungi, seperti penyebaran tegangan melalui saluran telepon, antena, pasokan listrik, grounding, dan induksi elektromagnetik. Langkah untuk meminimalkan biaya dapat dilakukan dengan cara menetapkan zoning area proteksi dan mengurangi arus atau tegangan impuls petir yang masuk ke dalam bangunan dan instalasi. Tujuannya adalah untuk mengurangi risiko kerusakan internal pada peralatan listrik seperti over voltage dan tegangan induksi yang dapat merusak peralatan. Berdasarkan pengalaman, dengan meningkatkan penangkal petir eksternal dan penerapan perisai yang optimal, biaya penangkal petir internal dapat ditekan.

Teknik proteksi petir yang sederhana dan pertama kali dikenal menggunakan prinsip yaitu dengan membentuk semacam tameng berupa konduktor yang akan mengambil alih sambaran petir. Proteksi petir semacam ini biasanya disebut groundwires (kawat tanah) pada jaringan hantaran udara, sedangkan pada bangunan dan perlindungan terhadap struktur, Benjamin Franklin menyebutnya dengan sebutan lightning rod. (Naibaho & Sofiyon, 2021)

Proteksi petir konvensional sifatnya pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya. (Naibaho & Sofiyon, 2021)

2.7.2 Sistem Proteksi Eksternal

Sistem Perlindungan Petir Luar melindungi dari risiko langsung terkena sambaran petir pada perangkat-perangkat, fasilitas-fasilitas yang ditempatkan di luar gedung, menara, dan elemen-elemen eksternal bangunan. Ini juga termasuk melindungi manusia yang berada di luar gedung (A Rakov, 2021). Sistem Proteksi Petir Eksternal pada dasarnya terdiri dari:

- a. Terminasi udara (*Air Terminal*)
 - b. Konduktor penyalur arus petir (*Down Conductor*)
 - c. Pembumian (*Grounding*)
- a. Terminal Udara

Proteksi petir eksternal memiliki bagian yang disebut terminasi udara yang berfungsi untuk menangkap sambaran petir. Terdiri dari elektroda logam yang dipasang secara vertikal atau horizontal, terminasi udara mempunyai daerah atau zona yang khusus untuk menangkap petir dalam jangkauan tertentu. Penempatan penangkap petir harus dilakukan dengan cermat sehingga dapat menangkap semua sambaran petir tanpa membahayakan gedung, bangunan, atau zona proteksi.

b. Konduktor Penyalur Arus petir

Penyalur arus petir yang disebut Down Conductor berfungsi untuk mengalirkan arus petir dari Terminasi udara (terminal udara) ke grounding. Dalam memilih posisi dan jumlah konduktor penyalur, perlu dipertimbangkan bahwa membagi arus petir ke beberapa konduktor penyalur dapat mengurangi risiko loncatan kesamping dan gangguan elektromagnetik di dalam gedung. Sesuai dengan standar SNI 7015 tahun 2014, setiap down conductor harus dipasang pada rute yang sesingkat mungkin dan tidak menimbulkan bahaya side-flash pada manusia atau peralatan, serta bahaya induksi terutama pada peralatan sensitif. Pada instalasi dengan peralatan sensitif, down conductor harus disertai dengan perangkat pemantau jumlah petir dan perangkat perekam arus petir yang besar. Desain down conductor harus memungkinkan aliran arus petir langsung ke tanah dengan resistansi yang rendah.

Fungsi suatu sistem proteksi petir adalah menangkap sambaran petir lalu menyalurkan arus petir ke dalam tanah dengan aman. Penelitian ini mendesain sistem proteksi petir eksternal menggunakan standar SNI-03-7015-2004. Untuk melakukan risk assesment dengan menggunakan persamaan berikut

$$R = A + B + C + D + E \quad 2.1$$

Dimana :

R = Nilai Indeks bahaya sambaran petir

A = Macam struktur bangunan

B = Konstruksi bangunan

C = Tinggi bangunan

D = Situasi bangunan

E = Hari guruh per tahun

Dalam *Software Alternative Transient Program (ATP)*, digunakan untuk membantu penyelesaian pada bidang transient elektromagnetik pada tenaga listrik (*Wirasari et al., 2022*). down conductor disusun dengan komponen pengganti berupa resistansi dan induktansi. Umumnya, model down conductor direpresentasikan dalam bentuk rangkaian seri yang menghubungkan resistansi dan induktansi. Besarnya dari nilai resistansi pada down conductor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut. Sementara untuk menghitung jari-jari penghantar menggunakan persamaan

$$r = \sqrt{\frac{a}{\pi}} \quad 2.2$$

Dimana :

r = jari-jari penghantar (m)

a = luas penampang penghantar (mm²)

Untuk menghitung resistor dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Rd = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad 2.3$$

Dimana :

P = Densitas

l = Panjang penghantar

A = Luas Penampang Penghantar (mm²)

Dan untuk menghitung induktansi dengan menggunakan persamaan :

$$Ld = 0.21 \left[\ln \left(2 \times \frac{l}{r} \right) - 1 \right] \quad 2.4$$

Dimana :

= Panjang penghantar (m)

= jari-jari penghantar (m)

c. Penumbumian

Penumbumian adalah suatu bagian yang berguna untuk melindungi aliran listrik dari sambaran petir yang diterima oleh bumi atau tanah. penumbumian yang memenuhi standar adalah yang memiliki resistansi kurang dari 5 ohm (semakin rendah nilainya, semakin baik).

2.7.3 Daerah Proteksi Sambaran Petir (A_e)

A_e adalah area cakupan ekivalen dari bangunan (m^2) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Area cakupan ekivalen tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad 2.6$$

Dimana:

a = panjang gedung (m)

b = lebar gedung (m)

h = tinggi gedung (m)

A_e = Luas daerah proteksi gedung (m^2)

2.7.4 Densitas Sambaran Petir ke Tanah (Ng)

Untuk menentukan besar sambaran petir ke tanah (Ng) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Ng = 0,04 \cdot T_d^{1.25} \quad 2.5$$

Dimana:

Ng = densitas sambaran petir ke tanah per km^2 per tahun

T_d = jumlah hari gurug per tahun yang diperoleh dari peta isokraunik atau tabel yang dikeluarkan oleh BMKG

2.7.5 Perkiraan Frekuensi Sambaran petir Langsung (Nd)

Untuk menentukan besar frekuensi sambaran petir langsung dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Nd = Ng \cdot Ae \cdot 10^{-6} \quad 2.6$$

Dimana:

Nd = Frekuensi sambaran petir langsung (/tahun)

Ng = Densitas sambaran petir ke tanah ((/km² / tahun)

Ae = Luas daerah proteksi gedung (m^2)

2.7.6 Efisiensi Sistem Proteksi Petir Yang diperlukan (Ec)

Untuk menentukan besar efisiensi sistem proteksi petir eksternal dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Ec = 1 - \frac{Nc}{Nd} \quad 2.7$$

Dimana:

E_c = Efisiensi sistem proteksi petir eksternal
 N_c = Frekuensi sambaran diperbolehkan pada gedung
 N_d = Frekuensi sambaran petir langsung (/tahun)

2.8 Metode Collection Volume

Metode Collection Volume adalah teknik yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis data terkait fenomena petir dalam konteks sistem kelistrikan. Dalam jurnal teknik elektro, metode ini dijelaskan sebagai pendekatan yang memfokuskan pada pengumpulan data dari volume tertentu di atmosfer untuk menentukan karakteristik dan pola sambaran petir. Dengan menggunakan alat pengukuran yang tepat, seperti sensor dan sistem pemantauan, para peneliti dapat mengumpulkan informasi tentang frekuensi, intensitas, dan lokasi sambaran petir. Data ini sangat berharga untuk merancang sistem perlindungan yang lebih efektif dan memahami dampak petir terhadap infrastruktur kelistrikan.

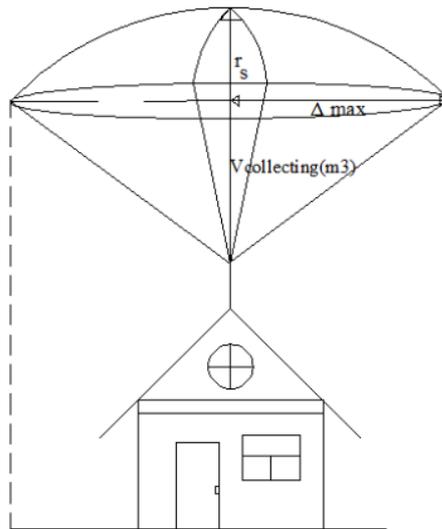
Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa suatu struktur atau bangunan tertentu hanya akan menangkap sambaran petir (dalam hal ini downward leader) yang memasuki atau berada dalam jangkauan volume pengumpulannya. Teknik ini memanfaatkan metode elektromeometri dengan mengatur luas area penangkap petir yang tergantung pada tinggi bangunan. Syarat untuk memperoleh volume pengumpulan adalah jarak tangkapan/ r_s (m) dan radius menarik/ Δ_{max} (m). Jarak petir adalah jarak antara ujung lidah kilat yang bergerak ke bawah (downward leader) bertemu dengan penghubung yang bergerak ke atas (connecting leader). Jarak petir diukur dengan parameter antara sudut datang kilat yang bervariasi.

besar arus sambaran yang berbeda dan ketinggian bangunan. Persamaan umum dari jarak sambaran:

$$r_s = (i_0, h, \theta) = 0.8 [(h + 15)]^{\frac{2}{3}} \cos \theta + 2.4 i_0^{2/3} \sin \theta \quad 2.8$$

Δ_{max} merupakan perpindahan lateral tertinggi yang dapat dicapai. Besarannya berfungsi sebagai jari-jari tarik, yang bermanfaat untuk menentukan area tangkapan dari instalasi bandar udara (Christian & Negara, 2017).

$$\Delta_{max} = 0.74 [(h + 15)i_0]^{2/3} \quad 2.9$$



Gambar 2. 11 Metode Collection Volume

2.9 Metode Zona Proteksi

Sesuai dengan gambar 2.4 maka akan permodelan matematis zona perlindungannya adalah sebagai berikut :

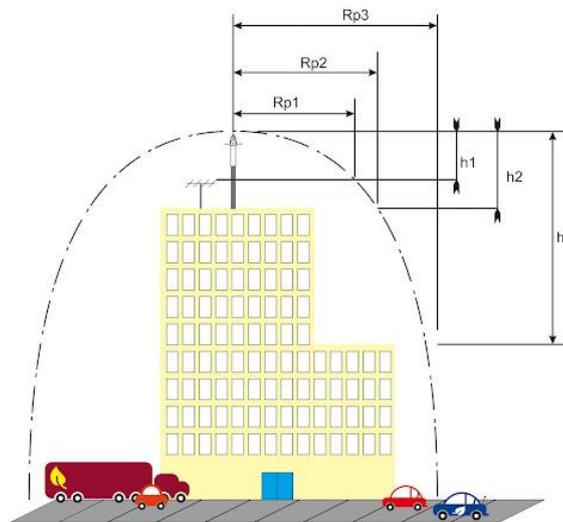
$$rx = \frac{1,6}{1 + \frac{Hx}{Ht}} (Ht + 1) \quad 2.10$$

Dimana

rx :Radius Proteksi

hx :Tinggi maximum objek yang diproteksi

ht :Tinggi total Penyalur Petir



Gambar 2. 12 Metode Zona Proteksi

Dari persamaan di atas, terlihat bahwa menurut Razevig jari-jari pengaman akan berubah-ubah seiring dengan perubahan ketinggian objek yang dijamin.

2.10 Metode Rolling Sphere

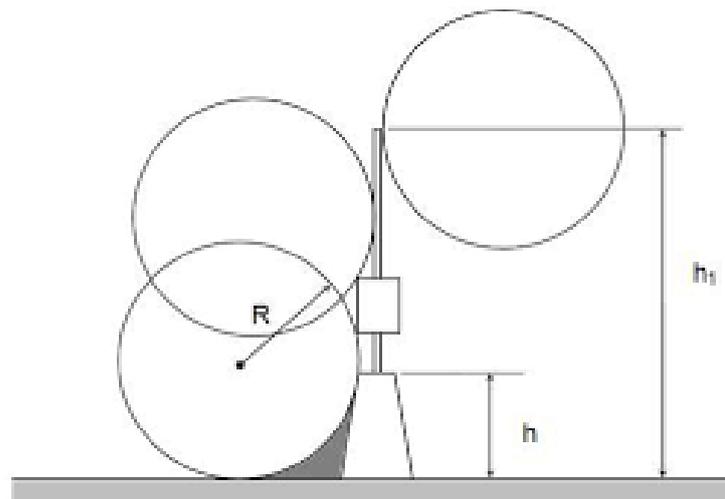
Metode Rolling Sphere (Bola bergulir) adalah teknik yang digunakan untuk menentukan area perlindungan terhadap sambaran petir pada infrastruktur kelistrikan. Dalam jurnal teknik elektro, metode ini dijelaskan sebagai pendekatan yang menggunakan bola imajiner dengan radius tertentu untuk menggambarkan area yang dilindungi. Ketika bola ini "bergulir" di sekitar struktur, setiap titik pada permukaan bola yang menyentuh objek tersebut menunjukkan potensi titik sambaran petir. Metode ini sangat efektif dalam merancang sistem penangkal petir, karena dapat membantu insinyur dalam menentukan lokasi dan jumlah penangkal yang diperlukan untuk melindungi infrastruktur dari sambaran petir yang berbahaya.

Metode Rolling Sphere tidak hanya berguna untuk bangunan, tetapi juga untuk infrastruktur lain seperti tiang listrik dan antena komunikasi. Dengan menerapkan metode ini, para insinyur dapat mengidentifikasi dan memitigasi risiko

sambaran petir secara lebih efektif. Hal ini sangat penting dalam pengembangan dan pemeliharaan sistem kelistrikan, karena sambaran petir dapat menyebabkan kerusakan yang signifikan. Dengan menggunakan metode Rolling Sphere, pemahaman tentang potensi ancaman dari sambaran petir dapat ditingkatkan, sehingga langkah-langkah pencegahan dapat diambil dengan lebih baik.

Franklin (1767) melakukan konsep daerah perlindungan dengan menggunakan geometri sederhana, dimana petir akan menyambar penangkap petir dari titik tertentu jika jarak antara titik penangkap petir dan objek yang akan disambar adalah yang terpendek. Konsep ini kemudian berkembang dengan pengertian bahwa jarak sambaran saat ini adalah jarak antara objek yang akan disambar dengan ujung lidah petir yang bergerak ke bawah, dimana medan tembus udara antara lidah petir dan bumi telah tercapai. Jarak sambaran ini menentukan besarnya daerah perlindungan yang dihasilkan (Hakim, 2020).

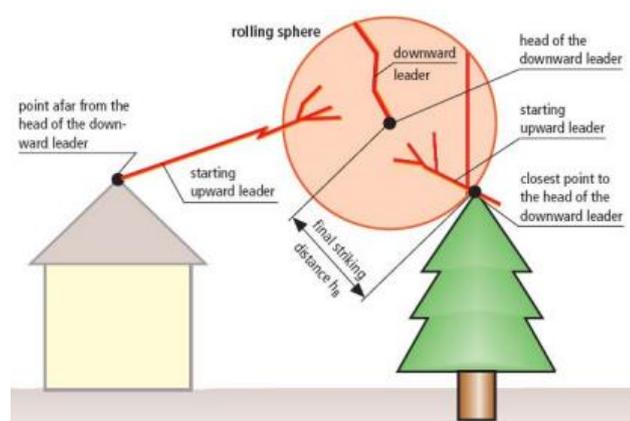
Dari ide dasar geometri di atas, ditemukan sebuah model perlindungan yang disebut bola bergulir. Metode bergulir bola dapat diibaratkan sebagai proses penangkapan, karena metode ini didasarkan pada anggapan bahwa tidak ada petir yang dapat menangkap semua titik yang berada di luar jika jaraknya lebih besar dari radius tetap dari bola tersebut (Hakim, 2020).



Gambar 2. 13 Metode Rolling Sphere

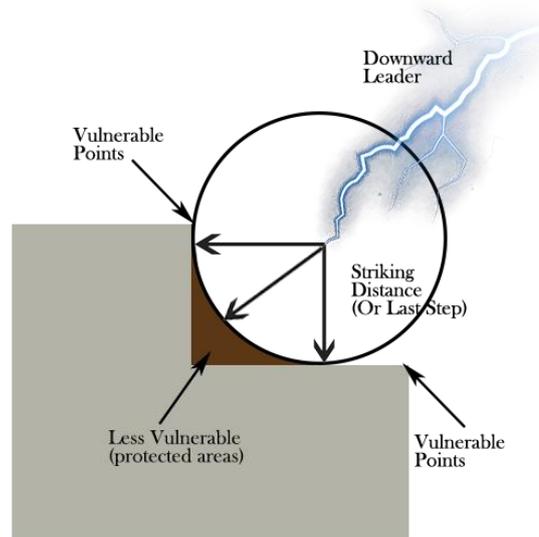
Penggunaan metode bergulir bola menjadi lebih efektif pada bangunan yang memiliki bentuk yang kompleks. Seperti pada gambar yang ditunjukkan di atas, bola dengan radius R digerakkan mengelilingi dan melintasi bangunan atau gedung menuju ke tanah atau objek yang terhubung dengan permukaan bumi yang berfungsi sebagai penghantar petir (Hakim, 2020).

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



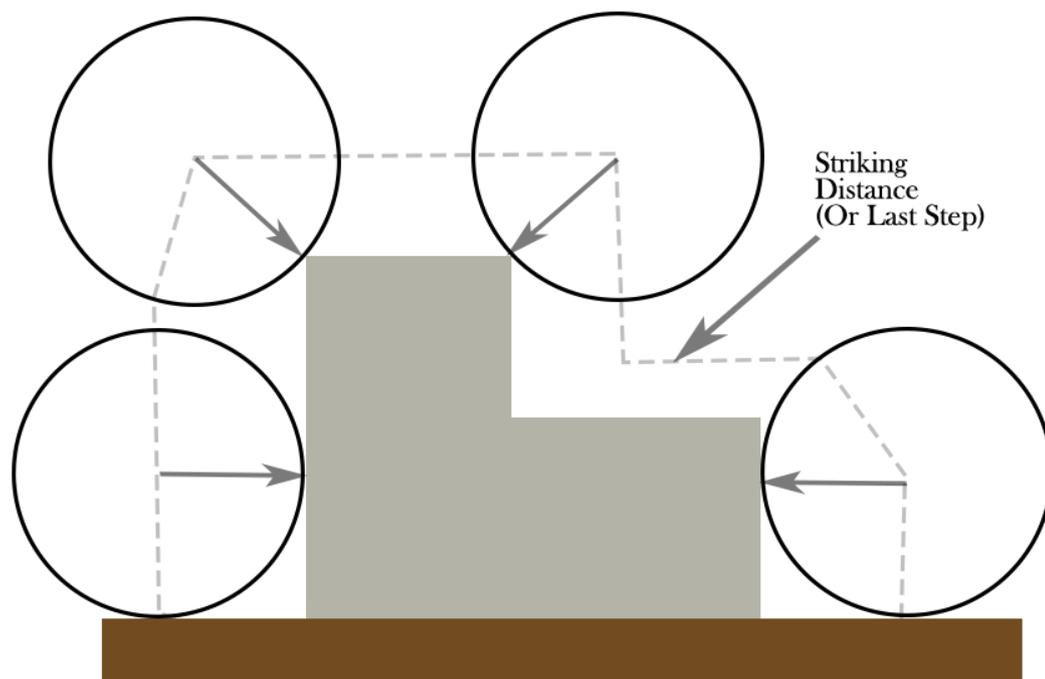
Gambar 2. 14 Perkembangan Perintis Kebawah

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



Gambar 2. 15 Perkembangan Langkah Terahir

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



Gambar 2. 16 Jarak Rambatan

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

2.11 Sistem Terminasi Bumi

Sistem terminasi bumi adalah komponen penting dalam perlindungan terhadap sambaran petir dan gangguan listrik lainnya. Sistem ini dijelaskan sebagai mekanisme yang mengalihkan arus listrik berlebih dari sambaran petir atau gangguan lainnya ke tanah, sehingga melindungi infrastruktur kelistrikan dari kerusakan. Sistem ini terdiri dari berbagai elemen, termasuk elektroda bumi, kabel penghubung, dan perangkat perlindungan lainnya yang dirancang untuk memastikan arus listrik dapat dialirkan dengan aman ke dalam tanah. Penerapan sistem terminasi bumi yang baik dapat secara signifikan mengurangi risiko kerusakan akibat sambaran petir. Sistem terminasi bumi ialah menanamkan beberapa elektroda ke dalam tanah dengan cara tertentu untuk mendapatkan tahanan pembumian yang diinginkan, dan berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah/bumi tanpa menyebabkan tegangan lebih yang berbahaya pada manusia maupun peralatan yang terdapat disekitar daerah yang di proteksi.

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan. Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi, 2020).

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan. Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran

petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi,2020).

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan.Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi,2020).

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan.Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi,2020).

Sambaran petir akan menimbulkan kerusakan.Efek dari sambaran petir dapat terjadi terhadap manusia, bangunan, telekomunikasi, jaringan, instalasi listrik, terhadap peralatan elektronik dan sebagainya. Arus sambaran petir berkisar antara 2000 A sampai 200 kA, sehingga apabila suatu objek atau benda terkena sambaran petir, maka bisa dikatakan akan berdampak buruk bagi seperti kebakaran gedung, bahkan kematian terhadap makhluk hidup (Supriadi,2020). Adapun cara instalasi pentanahan adalah sebagai berikut :

A. Single Grounding Rod

Sistem pentanahan yang hanya terdiri batang pelepas tunggal di dalam tanah dengan kedalaman tertentu (misalnya 6 meter). Untuk daerah yang memiliki karakteristik tanah yang konduktif, biasanya mudah untuk didapatkan tahanan sebaran tanah di bawah 5 ohm dengan satu pembuang arus.

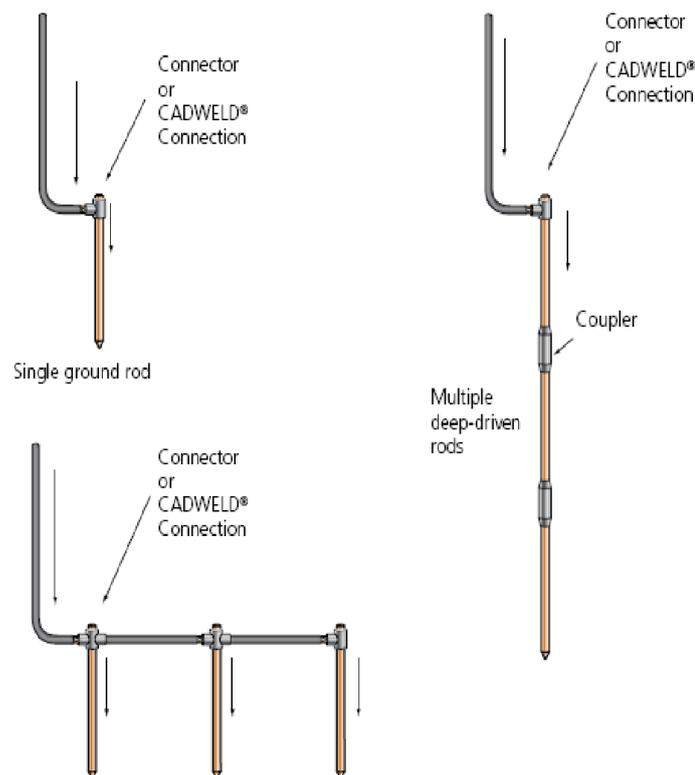
B. Paralel Grounding Rod

Jika sistem pelepas tunggal masih mendapatkan hasil kurang baik (nilai tahanan sebaran >5 ohm), maka perlu ditambahkan pelepas ganda ke dalam tanah yang jarak antar batang minimal 2 meter dan dihubungkan dengan

kabel BC/BCC. Penambahan batang pelepas muatan dapat juga ditanam mendatar dengan kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa diterapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistans kurang dari 5 ohm setelah pengukuran dengan earth ground tester.

Syarat-syarat pemasangan elektroda bumi berdasarkan SNI 03-7015 tahun 2004 antara lain :

- a) Elektroda bumi harus dipasang di luar ruang terproteksi dengan kedalaman minimal 0,5 meter dan didistribusikan merata mungkin.
- b) Kedalaman dan jenis elektroda bumi yang harus ditanam sedemikian rupa sehingga mengurangi efek kerusakan seperti korosi.



Gambar 2. 17 Grounding

Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penyalut Petir (PUIPP) tahanan pentanahan diusahakan lebih kecil dari 5 ohm, untuk itu perhitungan dalam merancang sistem pentanahan berdasarkan persamaan standar yang sudah ada yaitu sebagai berikut (Hermawan, 2020) :

$$R_{bt} = \frac{\rho}{4\pi l} \ln \left(\frac{4(l.l)}{d.h} \right) - 1 \quad 2.11$$

Keterangan :

R_{bt} = Tahanan pembedaan elektroda (Ω)

P = Tahanan jenis tanah (Ωm)

l = Panjang elektroda (m)

d = diameter bahan elektroda (m)

h = Kedalaman penanaman elektroda (m)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Pendekatan Penelitian

Analisis proteksi petir pada gedung merupakan analisa yang menentukan tingkat kebutuhan gedung terhadap sistem proteksi petir. Dimana akan dianalisis perkiraan resiko tersambar petir pada gedung, kemudian akan ditentukan tingkat proteksi yang sesuai dengan efisiensi yang diinginkan menggunakan standar IEC 1024-1-1. Kemudian dari tingkat resiko gedung dari hasil analisis akan dilakukan penerapan penentuan sistem proteksi dengan metode yang telah ditentukan yaitu bola bergulir.

Pada bagian akhir penelitian akan diberikan kesimpulan apakah sistem proteksi yang ada sudah mencukupi untuk melindungi seluruh bagian gedung terhadap sambaran petir, ataupun perlu adanya tambahan atau perbaikan posisi terminal udara yang telah ada.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan mei sampai dengan bulan agustus 2023. Tepatnya di Gedung Perkantoran PT NUSANTARA POWER UPDK BELAWAN MEDAN. Waktu penelitian berlangsung selama kurang lebih 4 bulan, dimulai dari Studiliteratur sampai seminar dan sidang tugas akhir.

3.2.1 Jadwal Penelitian

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Uraian	Bulan ke-					
		3	4	5	6	7	8
1	Kajian literatur						
2	Pengajuan judul						
3	Penulisan Bab 1 - Bab 3						
4	Seminar proposal						
5	Pengambilan Data						
6	Analisis dan Pembahasan						
7	Seminar hasil dan Sidang Tugas Akhir						

3.3 Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendukung penelitian ini maka diperlukan data – data sebagai bahan proses analisis. Adapun data yang diperlukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Data Gedung

Data gedung pada penelitian ini adalah karakteristik gedung yang meliputi tinggi gedung, panjang gedung, lebar gedung, resistansi tanah, jumlah orang yang ada pada gedung serta waktu gedung operasional.

2. Klasifikasi Struktur Gedung

Klasifikasi struktur gedung adalah dengan memperhatikan bahaya yang dapat ditimbulkan berdasarkan jenis bangunan, konstruksi bangunan, tinggi bangunan, situasi bangunan dan pengaruh kilat atau hari guruh.

3. Data Sistem Proteksi Petir pada Gedung

Data sistem proteksi petir pada gedung adalah data antenna penangkap petir sampai ke grounding yang sudah ada pada gedung dilokasi penelitian. Dimana

data ini akan dilakukan analisis apakah perlu adanya perbaikan pada sistem proteksi petir atau adanya tambahan agar seluruh gedung dapat terlindungi oleh potensi tersambar petir

3.4 Teknik Analisis

Dari data yang telah dikumpulkan, maka langkah selanjutnya adalah proses analisis data yang ada. Adapun langkah – langkah teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

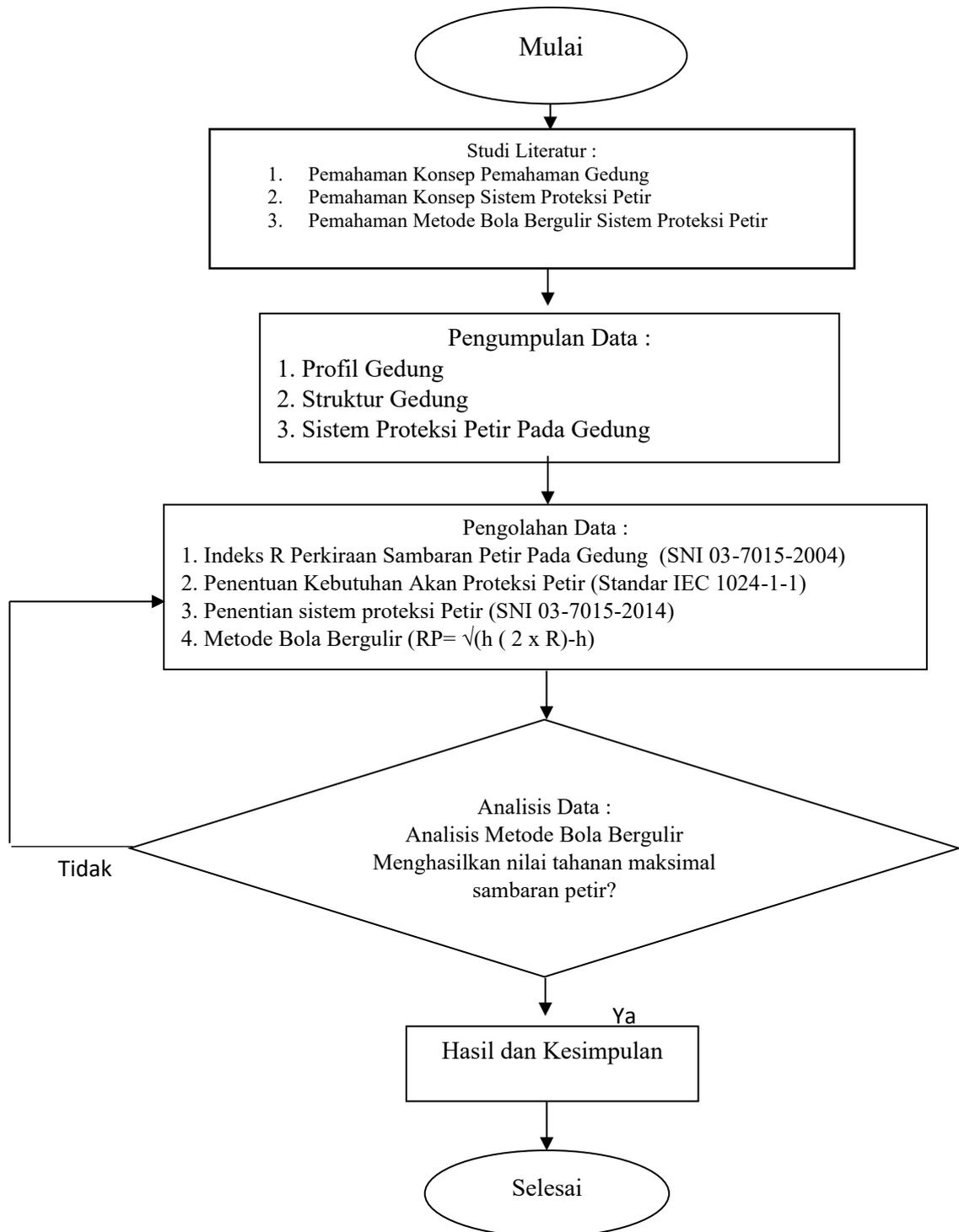
1. Data gedung dan data struktur gedung yang didapat akan dianalisis untuk menentukan tingkat perkiraan resiko gedung tersambar petir. Dimana tingkat resiko pada gedung meliputi :
 - a. Bahaya berdasarkan jenis bangunan
 - b. Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
 - c. Bahaya berdasarkan tinggi bangunan
 - d. Bahaya berdasarkan situasi bangunan
 - e. Bahaya berdasarkan pengaruh kilat

Dimana dari 5 tingkat bahaya akan didapatkan indeks R perkiraan bahaya sambaran petir yang akan menentukan apakah gedung perlu pengamanan proteksi petir atau tidak.

2. Penentuan kebutuhan bangunan akan proteksi petir yaitu berdasarkan standart IEC 1024-1-1 dimana daerah proteksi (A_e) akan ditentukan. Rata – rata sambaran petir ketanah (N_g) dan Frekuensi sambaran petir langsung setempat (N_d) juga akan hitung nilainya. Serta penentuan Sistem Proteksi Petir (SPP) dianalisis berdasarkan penempatan terminasi udara sesuai radius yang telah dianalisis sebelumnya.
3. Analisis sistem proteksi petir dengan metode bola bergulir dilakukan dengan mengawali dari data proteksi petir yang sudah ada, dimana akan disimulasikan melalui gambar 2 dimensi. Dapat dilihat dari gambar dengan jari – jari bola bergulir yang telah dianalisis apakah gedung membutuhkan proteksi petir tambahan atau tidak.

3.5 Flowchart Penelitian

Adapun proses alur penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- A Rakov, Vladimir. *Lightning discharge and fundamentals of lightning protection. Journal of Lightning Research*, 2021, 4.1.
- Al Faruq U. A., Santoso B., dan Apribowo. C. H. B. (2020). "Perencanaan Sistem Elektrikal Pada Apartemen Menara OneSurakarta," *Mekanika*, vol. 17, no. 1, pp. 1-7
- Aprillia, Happy. Metode Bola Bergulir untuk Analisis Perancangan Sistem Proteksi Petir Gedung Perkuliahan Institut Teknologi Kalimantan.
- Christian, Dennis Messelinus, and Eng I. Made Yulistya Negara. "Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Pada Pabrik PT Pupuk Sriwijaya." Institut Teknologi Sepuluh November (2023).
- Cooray, V. (2020). *“Lightning Protection”*. London: *The Institution of Engineering and Technology*.
- Dehn. (2022). *“Lightning Protection Guide 2nd Edition”*. Neumarkt: *DEHN + SÖHNE*
- Golde, R. H. *Lightning*. Volume 2. London : Academic Press Inc, 1981.
- Harun, Nasrul. "Sistem Penangkal Petir Warehouse Indarung VI PT. Semen Padang." *Jurnal Teknik Elektro* 4.2 (2020): 50-55.
- Hasse, Peter. *Overvoltage Protection of Low Voltage System*. London: *Peter Peregrinus Ltd*, 1987.
- <https://standards.ieee.org/ieee/998/1376/>
- IEC 1662 : 1993, *Protection of Structures Against Lightning*. *International Electrotechnical Commission* 81, 1993.
- Johnson. M. S., Jumari, dan Hutagalung T. M. (2021). “Studi Sistem Penangkal Petir Pada Menara Lampu Penerangan Parkir Bandara Kualanamu”, *Jurnal Teknologi Energi Uda, Jurnal Teknik Elektro Volume VIII, Nomor 2, September 2019*:73-80.
- Karta, A. (2020). “Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat”. *Jurnal Teknik Elektro, Volume 09 No 03*. 773-780
- Karta, Arif; Agung, Achmad Imam; Widyartono, Mahendra. Analisis Kebutuhan Sistem Proteksi Sambaran Petir Pada Gedung Bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 2020, 9.3: 773-780.

- NFPA 780: *Lightning Protection Code*. National Fire Protection Association, 1992.
- Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir untuk Bangunan di Indonesia. Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.
- Pratama, R.B. dkk. (2022). "Analisis Sistem Proteksi Petir Eksternal pada Pabrik 1 PT. Petrokimia Gresik".
- R. A. Brown. (2021). *The Physics of Lightning: An Overview*. *Journal of Electrical Engineering*, vol. 45, no. 3.
- Saini, Makmur. (2019). Pengembangan Sistem Penangkal Petir dan Pentanahan Elektroda Rod dan Plat.
- Smith, M. L. (2017). "Mitigating the Impact of Lightning on Power Systems." *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(4), 1120-1128
- Widharma, I. G. S. Sistem Proteksi Terhadap Gangguan Petir Pada Stasiun Pemancar Tv. *Matrix*, 2021, 9.3.
- Wirasari, Riza Ria, et al. Analisa Sambaran Petir Terhadap Sistem Proteksi Tower Telekomunikasi Menggunakan Simulasi Software ATP Draw. *Rang Teknik Journal*, 2022, 5.2: 373-378.
- Naibaho, N., & Sofiyani, A. I. (2021). Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Tipe Elektrostatis di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi - Bogor. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 9(2), 112–125.
<https://jurnalteknik.unkris.ac.id/index.php/jie/article/view/130>
- Rimbawati, Siregar, M. A., Siagian, Z., Riandra, J., Harahap, P., & Oktrialdi, B. (2022). Lightning Arrester Design as a Security System for Photovoltaic Systems in Pematang Johar Village. *Proceeding - ELTICOM 2022: 6th International Conference on Electrical, Telecommunication and Computer Engineering 2022*, 54–59.
<https://doi.org/10.1109/ELTICOM57747.2022.10038261>
- Rimbawati, & Yusniati. (2019). Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Modul Deep Sea Elektronik 3110 Pada PLTMH Bintang Asih. *Journal of Electrical Technology*, 4(1), 1–8.

Nomor : 0218/STH.01.04/PLNNP030008/2024
Lampiran : 1 Lembar
Sifat : Segera
Hal : Permohonan Izin Pengambilan Data / Riset

26 Maret 2024

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah
Sumatera Utara
Jalan Mukhtar Basri No. 3
Medan

Sehubungan dengan surat Saudara No 420/II.3 AU/UMSU-07/B/2024 Perihal Permohonan Izin penelitian tanggal 15 Maret 2024, maka dengan ini disampaikan bahwa PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan bersedia menerima Mahasiswa atas nama:

NO	NAMA	NIM
1.	Duwi Ramadhan	2007220058

untuk melaksanakan Penelitian Mahasiswa pada tanggal 27 Maret 2024 Sampai dengan 3 April 2024 di bawah bimbingan Team Leader Rental Operasi.

1. Mahasiswa/i wajib membawa sendiri Alat Pelindung Diri (safety helmet, wearpack, dan safety shoes).
2. Mahasiswa/i Tidak dibenarkan Naik Angkutan Umum Selama Penelitian / Riset di PLN UPDK Belawan.
3. Mahasiswa/i wajib mengikuti Standar Prosedur Pelaksanaan Penelitian / Riset Mahasiswa di PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan (terlampir)
4. Mahasiswa/i wajib menyertakan BPJS Kesehatan atau asuransi kesehatan lainnya
5. Mahasiswa/i wajib Meyertakan riwayat penyakit setahun terakhir.

Demikian disampaikan untuk dapat diketahui, atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

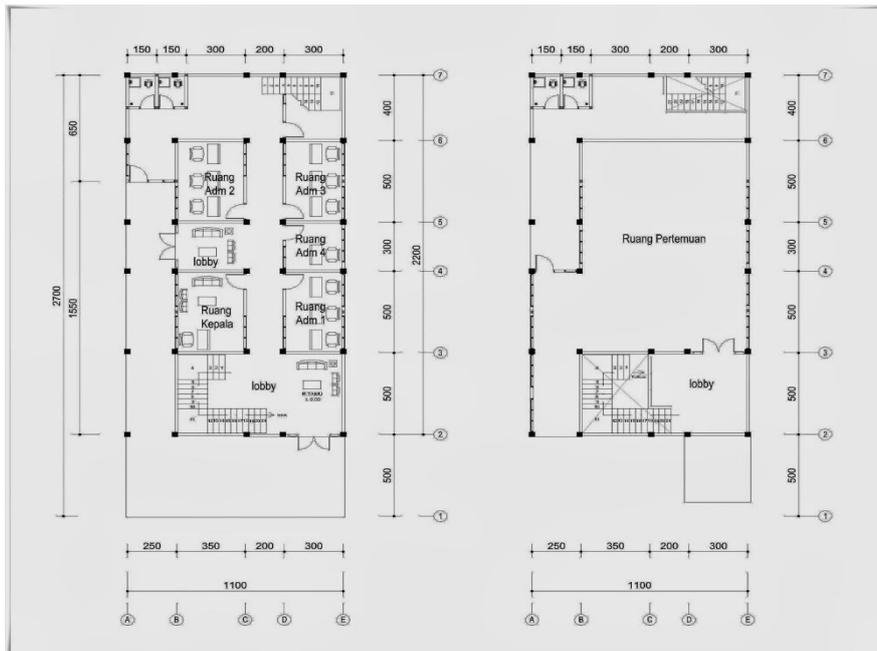
SENIOR MANAGER UPDK BELAWAN,


HENI SETYO HANDOKO

Data Gedung

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	43 m
Panjang Gedung	48 m
Lebar Gedung	17,5 m
Resistansi Tanah	3,89 Ohm
Jumlah Orang	± 100 Orang
Waktu Hadir	48 Jam/minggu
Karakteristik Material	Beton
IKL	52

Denah Gedung Kantor PT. PLN Nusantara Power UPDK Belawan adalah sebagai berikut :



Denah Gedung

Petunjuk :

Catatan

Menngetahui

SYAMSUL AHWAN
7192063A

Pengawas Pekerjaan
11 June 2024

MUHAMMAD HARRY SUSANTO
8204026A2

Pelaksana Pekerjaan
11 June 2024

RIYAN KURNIAWAN PUTRA
96191396ZY



Proteksi Petir Pada Gedung

Petunjuk

Catatan

Mengetahui

Pengawas Pekerjaan

Pelaksana Pekerjaan

11 June 2024

11 June 2024

SYAMSUL AHWAN
7192063A

MUHAMMAD HARRY SUSANTO
8204026A2

RIYAN KURNIAWAN PUTRA
96191396ZY



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan. Kapten Mochtar Basri No.3 Sumatera Utara 20238 Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL

NAMA : DUWI RAMADHAN
NPM : 2007220058
JUDUL : Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Bola Bergulir Pada Gedung Perkantoran PT PLN Nusantara Power UPGK Belawan

No	Hari Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	5/01/2024	Bimbingan kerangka pembuatan proposal	my.
2	14/01/2024	Bimbingan bab 1	my.
3	20/01/2024	Bimbingan bab 2	my.
4	14/04/2024	Revisi Bab 2	my.
5	05/05/2024	Bimbingan Bab 3	my.
6	25/05/2024	Ac seminar proposal 25/5/2024	my.

Mengetahui,
Dosen Pembimbing

Rimbawati, S.T., M.T



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan. Kapten Muchtar Basri No.3 Sumatera Utara 20238 Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL

NAMA : DUWI RAMADHAN
NPM : 2007220058
JUDUL : Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Bola Bergulir Pada Gedung Perkantoran PT PLN Nusantara Power UPDK Belawan

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	6/9/24	Bimbingan Kerangka Bab IV	RJ
2	9/9/24	Konsultasi Pengambilan Data	RJ
3	12/9/24	Evaluasi Data	RJ
4	23/9/24	Revisi data bab 4 dan Penulisan bab 5	RJ
5	7/10/24	Revisi bab 5 dan ACC	RJ
6	10/10/2024	Ace semhas 10/10/2024	RJ

Dosen Pembimbing


RIMBAWATI, ST, MT



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
Jalan. Kapten Muchtar Basri No.3 Sumatera Utara 20238 Indonesia

LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR HASIL

NAMA : DUWI RAMADHAN
NPM : 2007220058
JUDUL : Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Dengan Metode Bola Bergulir Pada Gedung Perkantoran PT PLN Nusantara Power UPK Belawan

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	15/10 2014	Revisi pasca sembas	
2		Atk sidang 15/10 2014	

Dosen Pembimbing

Rimbawati, ST, MT

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Duwi Ramadhan

Tempat/Tanggal Lahir : Medan, 26.11.2001

Jenis Kelamin : Laki-Laki

Umur : 22 Tahun

Agama : Islam

Status : Belum Menikah

Tinggi Badan / Berat Badan : 168 cm / 50 Kg

kewarganegaraan : Indonesia

Alamat : Jl.Marelan 3 No.73 Medan Marelan

No Hp : 082167067461

Email : duwiramadhan51@gmail.com

Latar Belakang Pendidikan

SD Swasta Melati : Tahun 2008-2014

SMP Swasta Brigjend Katamso II : Tahun 2014-2017

SMK Tritech Informatika : Tahun 2017-2020

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara : Tahun 2020-2024