

BAB II

KAJIAN TEORI

2.1. Kajian Penelitian Terdahulu

Pengujian sistem pentanahan dan penangkal petir menggunakan Earth Resistance Tester dilakukan untuk mengetahui kelayakan sistem pentanahan dan penangkal petir pada menara masjid agung lamongan dengan melihat nilai resistansi yang tertera pada saat pengujian, pengujian tersebut banyak digunakan tugas akhir atau skripsi mahasiswa dari perguruan tinggi di Indonesia. Berikut ini merupakan beberapa penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi teori dan metode terkait dengan permasalahan yang akan diselesaikan juga mengambil dari beberapa sumber lain. [7].

Pada tahun 2021, Jhonson M. Siburian, Jumari, Tika M. Hutagalung melakukan penelitian dengan judul Studi Sistem Penangkal Petir Pada Menara Lampu Penerangan Parkir Bandara Kualanamu sehingga didapatkan sebuah hasil akhir, bahwa Sistem penangkal petir eksternal pada menara lampu penerangan parkir Bandara kualanamu Medan yang terdiri atas satu buah finial penangkal petir jenis ESE, yang dipasang pada ujung menara, maka untuk 1buah finial sudah cukup untuk melindungi 1 batang menara lampu. Dan Perbandingan kedua finial jenis modern dan konvensional adalah bahwa penggunaan finial jenis modern lebih menguntungkan karena cenderung lebih efektif dalam hal pemasangannya dan radius yang dicapai juga cukup besar.[1]

Pada tahun 2019, G. Suprijono telah melakukan penelitian dengan judul Sistem Proteksi Petir Dan Sistem Pentanahan Pada Instalasi Vital Di Pt.Telkom Tegal Penelitian

tersebut dilakukan untuk mengetahui seberapa penting agar dapat mengantisipasi kejadian kerusakan peralatan atau bahaya keselamatan manusia dari sambaran petir, maka perlu sistem Proteksi Petir dan Sistem pentanahan menjadi syarat utama yang harus dipasang pada instalasi-instalasi vital di Indonesia pada umumnya dan khususnya di PT.Telkom Tegal. Didalamnya juga membahas tentang perbedaan Penangkal Petir Sistem Faraday dan Penangkal Petir Sistem Franklin.[2]

Pada tahun 2019, Harahap Putra Utama, Tharo Zuraidah, Darma Tarigan Amani melakukan penelitian dengan judul Analisa Perbandingan Sistem Pentanahan (Pentanahan) Pada Power House dan Gedung Perkantoran (Studi Kasus PLTA SEI WAMPU I) menjelaskan tentang bagaimana metode yang digunakan dalam memasang instalasi kabel pentanahan, metode penanaman dan pemasangan rod / elektrode pentanahan dan metode pemasangan pentanahan (pentanahan).[3]

Pada tahun 2021, Ta'ali , Ali Basrah Pulungan , Hambali , Shalvadila, dengan judul Analisis Sistem Pentanahan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa layak sistem pentanahan pada bangunan Fakultas teknik yang meliputi bangunan teknik elektro dan elektronika, teknik otomotif dan mesin serta teknik sipil Universitas Negeri Padang. Kualitas dari sistem pentanahan dapat dilihat dari nilai tahanan yang terukur. Nilai tahanan pentanahan seharusnya 0 s/d 5 Ω . Faktor yang dapat mempengaruhi nilai pentanahan yaitu kedalaman elektroda, jumlah elektroda, jarak antar elektroda, ukuran konduktor dan jenis tanah. Nilai pentanahan dapat diketahui dengan melakukan pengukuran. Pengukuran pada penelitian ini dilakukan menggunakan alat ukur Earth Tester dengan metode tiga titik. Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai rata-rata tahanan pentanahan di bangunan Teknik Elektro dan Elektronika sebesar

48,3Ω. Nilai pada bangunan ini jauh diatas standar dikarenakan penanaman elektroda pentanahan yang kurang dalam. Sedangkan nilai tahanan pentanahan pada bangunan Teknik Mesin dan Teknik Otomotif sebesar 2,34 Ω dan teknik sipil sebesar 2,52 Ω. Kedua bangunan tersebut memiliki nilai tahanan pentanahan yang sesuai dengan persyaratan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa untuk mendapatkan nilai pentanahan ≤ 1 ohm dibutuhkan kedalaman 12 m untuk jenis tanah rawa.[8]

Pada tahun 2022, Fajar Pujiyanto, Susanto melakukan penelitian dengan judul Analisis Electric Pentanahan System Untuk Keandalan Dan Keselamatan Dalam Instalasi Kelistrikan. Pada penelitian ini dibahas tentang syarat menghasilkan instalasi listrik baik dan aman dengan memperhatikan dua komponen penting sebagai unsur perancangan instalasi proteksi yaitu sistem pentanahan. Perancangan sistem pentanahan diperlukan analisa dan penilaian untuk menentukan nilai pentanahan resistance (GR) dengan memperhitungkan nilai soil resistivity (SR) dan material pentanahan rod itu sendiri. Pembahasan penelitian yaitu tentang pentingnya sistem pentanahan untuk instalasi listrik dan kebutuhan peralatan listrik dengan memperhitungkan kedua komponen guna mendapatkan instalasi listrik yang handal dan aman. Dan diambil beberapa kesimpulan bahwa Pentanahan sistem sebagai sistem proteksi vital untuk instalasi jaringan listrik yang handal dan aman. Pentanahan berperan penting untuk menyalurkan seluruh gangguan tegangan dan arus menuju ke tanah secara cepat dan aman. Pentanahan menjamin dan menjaga keselamatan personel atau operator dari sengatan listrik oleh bagian logam permesinan dan peralatan listrik. Sistem pentanahan dirancang dengan menganalisa dan mempertimbangkan komponen penting yaitu material konduktor pentanahan rod dan soil resistivity (resistivitas tanah). Nilai SR sebagai faktor penting untuk menentukan jenis

konduktor dan type sistem instalasi pentanahan yang akan dibuat. SR dengan nilai rendah menghasilkan nilai ground resistance (GR) yang rendah. Kondisi nilai SR dan GR rendah menyebabkan penggunaan material konduktor dapat diminimalisir sehingga biaya produksi dan perawatan sistem pentanahan dapat ditekan dan lebih murah. [9]

Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya melalui tinjauan pustaka dan metode yang dilakukan. Tinjauan pustaka membantu mengidentifikasi penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini, kemudian metode yang sudah digunakan dalam penelitian sebelumnya yang telah terbukti efektif dan dapat diadopsi untuk penelitian ini. Dengan menggunakan tinjauan pustaka dan metode yang sudah ada peneliti ingin menerapkan pada penelitiannya dengan data dan sampel yang berbeda yaitu pada menara masjid agung lamongan dengan tinggi menara 66 meter yang terletak pada tengah kota lamongan. Jenis bangunan berupa menara memiliki karakteristik yang berbeda dengan bangunan lainya seperti gedung perkantoran dan bangunan umum lainnya dengan tingkat proteksi yang lebih tinggi sesuai dengan standar yang digunakan.

2.2. Masjid Agung Lamongan

Masjid Agung Lamongan dibangun pada tahun 1908, merupakan bangunan yang sangat penting bagi kehidupan sosial budaya di Lamongan, Masjid Agung adalah salah satu elemen penting yang ada di tata kota di Jawa, tata kota tersebut disebut juga dengan “Catur Gatra Tunggal”, keempat elemen tersebut adalah keraton (tempat tinggal penguasa), Alun-Alun, Masjid dan Pasar, yang mempunyai makna pemerintahan yang juga memperhatikan unsur sosial, ekonomi, religi dan budaya sebagai ikatan satu sama lain. [10]

2.2.1. Karakteristik Bangunan

Masjid yang dibangun pada tahun 1908 ini memiliki menara yang tinggi sekitar 66 meter dengan diameter 7 meter. Bangunan dengan tinggi tersebut sangat rawan mengalami gangguan baik gangguan secara mekanik maupun gangguan alam. Salah satu gangguan alam yang sering terjadi adalah sambaran petir.[11] Menara masjid ini menggunakan bahan bangunan beton dan baja sebagai kerangka. Pada Menara masjid ini sudah memiliki sistem proteksi penangkal petir yang diimplementasikan, namun belum diketahui apakah sistem tersebut memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 03-7014. Hal ini menjadi alasan mengapa menara Masjid Agung Lamongan dipilih sebagai tempat penelitian Studi Kelayakan Sistem Proteksi Penangkal Petir pada Menara Masjid.

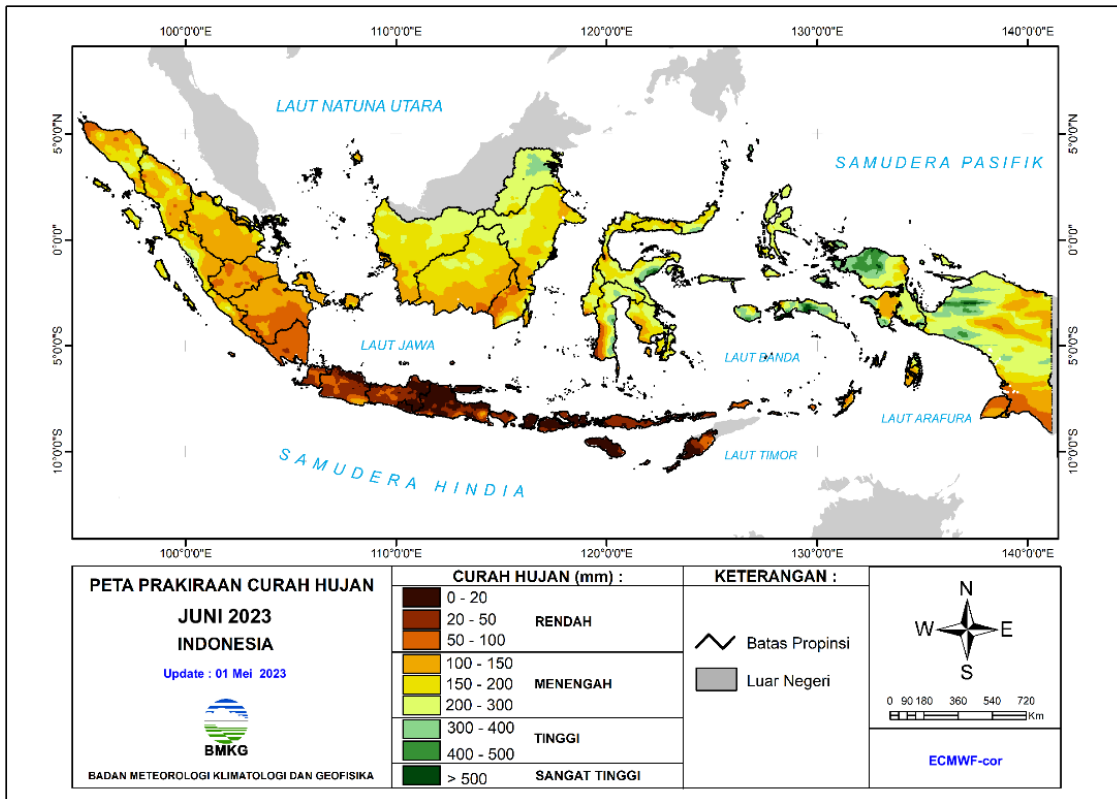


Gambar 2.1 Menara Masjid Agung Lamongan
(Sumber : Penulis 2022)

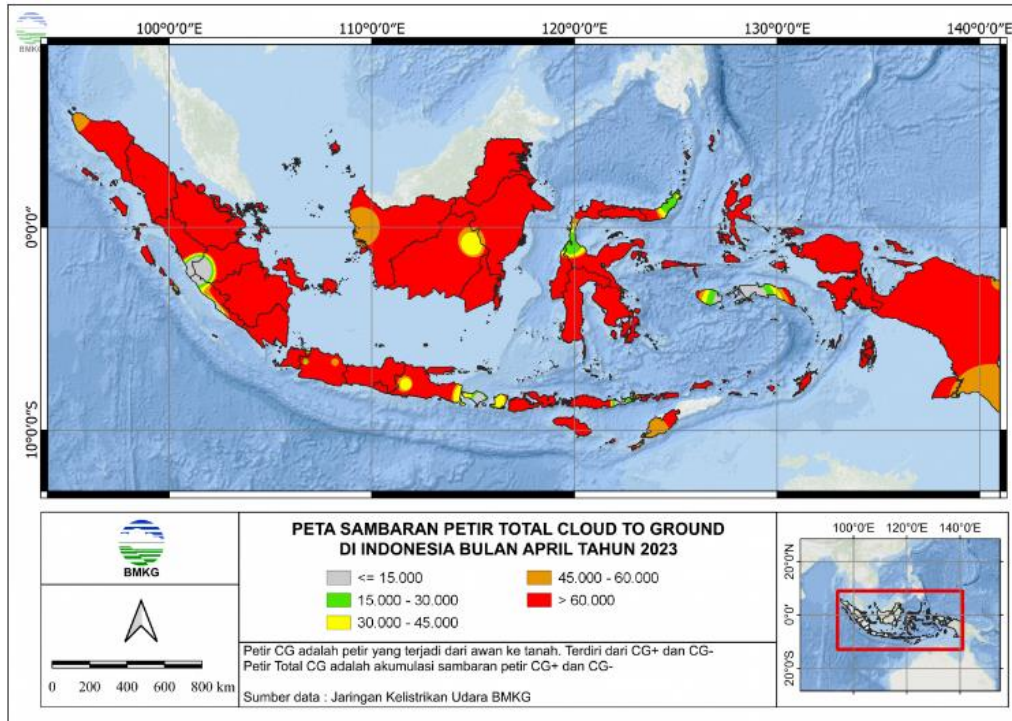
Penelitian ini akan mengevaluasi sistem proteksi penangkal petir yang diimplementasikan pada menara masjid, kompatibilitas, dan kinerja sistem. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem proteksi penangkal petir pada menara masjid, sehingga dapat memastikan keselamatan lingkungan sekitar dan para jamaah yang mengunjungi masjid.

2.3. Literasi Tentang Petir Dan Hari Guruh

Gambar 2.2 Peta Prakiraan Curah Hujan



(Sumber :
BMKG)



Gambar 2.3 Peta Sambaran Petir Total di Indonesia

(Sumber : BMKG)

Indonesia mempunyai hari guruh yang sangat tinggi antara 100-200 hari guruh per-tahun. Memiliki hari guruh yang sangat tinggi tersebut karena letak geografisnya berada pada garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis. Berdasarkan peta prakiraan curah hujan terbaru pada kota lamongan menunjukkan presentase 0-20 mm. Untuk peta sambaran petir di kota lamongan pada bulan april menunjukkan nilai >60.000. nilai tersebut diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Indonesia

2.4. Sistem Pentanahan

2.4.1. Definisi Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan 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.[12]

Pada dasarnya, sistem pentanahan terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk elektroda pentanahan, konduktor penyalur, penghubung, dan peralatan perlindungan. Elektroda pentanahan, seperti elektroda tanah atau piring pentanahan, digunakan untuk menghubungkan sistem dengan tanah. Konduktor penyalur berperan sebagai penghubung antara peralatan listrik dengan elektroda pentanahan. Sedangkan penghubung dan peralatan perlindungan seperti ground bar, ground rod, dan fuse melengkapi sistem pentanahan untuk memastikan aliran arus yang aman dan perlindungan yang efektif.

Dalam merancang sistem pentanahan, beberapa faktor harus dipertimbangkan, termasuk resistansi tanah, arus bocor yang diizinkan, keandalan sistem, dan kepatuhan terhadap standar dan regulasi yang berlaku. Perencanaan dan instalasi sistem pentanahan yang tepat sangat penting untuk memastikan sistem bekerja dengan baik dan memberikan perlindungan yang efektif.

2.4.2 Jenis Sistem Penatanahan

- 1) Elektrode pita ialah elektrode yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat, atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektrode ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 3.18-1, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan dalam antara 0,5 – 1.0 m

- 2) Elektrode batang ialah elektrode dari pipa besi, baja profil, atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah.
- 3) Elektrode pelat ialah elektrode dari bahan logam utuh atau berlubang. Pada umumnya elektrode pelat ditanam secara dalam
- 4) Bila persyaratannya dipenuhi, jaringan pipa air minum dari logam dan selubung logam kabel yang tidak diisolasi yang langsung ditanam dalam tanah, besi tulang beton atau konstruksi baja bawah tanah lainnya boleh dipakai sebagai elektrode bumi.

Macam-Macam Sistem Pentanahan terdapat 3 yaitu ;

1. Pentanahan Sistem titik netral

Sistem pentanahan netral menggunakan beberapa metode Grounding pada satu atau beberapa titik. Metode ini dapat dibagi menjadi dua kategori umum: solid Grounding dan impedance grounding. Impedance grounding dapat dibagi lagi menjadi beberapa sub kategori : reactance grounding, resistance grounding, dan ground fault neutralizer grounding tegangan dari fasa – fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan kawat tanah. [13]

2. Pentanahan Peralatan

Sistem pentanahan peralatan berlainan dengan sistem pentanahan jaringan yaitu suatu pentanahan bagian peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Tujuan pentanahan peralatan itu adalah Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu nilai yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan.[14]

3. Pentanahan Penangkal Petir

Penangkal petir ditemukan pertama kali oleh Benyamin Franklin sekitar tahun 1752. Dengan mempelajari persamaan listrik dan petir akhirnya Benjamin Franklin menemukan bahwa Petir merupakan pelepasan muatan listrik dan melakukan eksperimen. Metal diikatkan kelayang-layang, untuk menarik sambaran petir. Jika petir menyambar metal di bagian layang-layang, maka arus dialirkan melalui kawat yang dijadikan tali menuju kebumi. Atas dasar itu, benyamin Franklin memasang tembaga runcing pada bagian atas bangunan dan menghubungkannya ke konduktor pembumian. Penyalur petir tersebut pada saat itu disebut Franklin rod dimana saat ini dikenal dengan penangkal petir konvensional.[15]

2.4.3. Bagian-Bagian Sistem Pentanahan

- 1) Batang Penangkal Petir Batang penangkal petir adalah sebuah konduktor yang dipasang diatas gedung yang dihubungkan ke tanah melalui kabel konduktor penghantar, untuk melindungi bangunan pada saat terjadi sambaran petir. Penangkal petir biasanya dibuat meruncing atau segitiga karena muatan listrik mempunyai sifat mudah terkumpul.
- 2) Kabel Konduktor Kabel Konduktor atau yang biasa dikenal kabel penghantar adalah sebuah kabel yang terbuat dari jalinan kawat tembaga sekitar 1-2 cm. Kabel ini berfungsi untuk meneruskan aliran listrik atau sambaran listrik dari batang penangkal petir menuju ke tanah. Kabel ini biasanya dipasang di dinding bagian luar bangunan
- 3) Elektroda pentanahan adalah suatu konduktor dipasang di dalam tanah yang memiliki fungsi sebagai pengalir muatan listrik dari kabel konduktor ke dalam bumi. Biasanya

batang pentanahan ini terbuat dari bahan tembaga yang berlapis baja agar dapat menghantarkan muatan listrik ke tanah dengan baik.[16]

2.4.4. Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah adalah tahanan yang ada dalam tanah berukuran 1 m dalam berbentuk kubus dan diberi satuan Ohm meter dimana tahanan jenis tanah akan menjadi tolak ukur untuk penentuan resistansi tanah yang akan direncanakan. Tahanan jenis tanah berubah dan memiliki tahanan yang berbeda antara tanah satu dengan yang lain seperti pada tabel 2.1[17]

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)
Sawah,Rawa(Tanah Liat)	0 - 150
Tanah garapan (Tanah Liat)	10 – 200
Sawah,Tanah Garapan(Kerikil)	100 – 1000
Pengunungan(Biasa)	200 – 2000
Pengunungan(Batu)	2000 – 5000
Pinggirian sungai(Berbatu)	1000 – 5000

2.4.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Pentanahan

- 1) Dimensi konduktor pentanahan (diameter atau panjangnya). Untuk pemilihan konduktor yang akan dipasang untuk pentanahan ini adalah dengan memilih kabel jenis BC dengan luas penampang 16 mm.
- 2) Resistivitas relative tanah. Tanah yang bagus untuk pembuatan pentanahan atau grounding adalah dengan memilih tanah yang basah atau lembab, karena kandungan airnya cukup banyak dan dapat langsung menetralsisir ketika ada gangguan yang terjadi pada sistem instalasi.

- 3) Konfigurasi sistem pentanahan. Sistem pentanahan yang baik haruslah dengan adanya perencanaan yang baik pula harus adanya pengaturan, dalam hal ini perencanaan pentanahan yang akan dibuat adalah dengan mencari nilai tahanan mencapai 0,3 ohm untuk syarat tahanan pentanahan pada tegangan tinggi serta dengan kedalaman elektroda yang di tanam adalah 6 meter dan 6 buah elektroda yang akan ditanam.[18]

2.5. Sistem Penangkal Petir

2.5.1 Definisi Penangkal Petir

Alat penangkal petir adalah suatu instalasi yang sangat sederhana tetapi sangat efektif dalam pengamanan sambaran petir. Instalasi anti petir hanya terdiri dari tiga bagian utama dalam kinerja dan sistemnya, tidak memerlukan supply energy maupun alat yang berhubungan dengan listrik.[19]

Fungsi sistem ini adalah sebagai pelindung akan sambaran petir langsung atau alat yang berada diluar bangunan yang berfungsi menangkap dan menyalurkan arus listrik dari petir ke sistem pentanahan atau sistem pembumian agar bangunan yang dilindungi tidak mengalami kerusakan fisik.[20]

2.5.2 Jenis Sistem Penangkal Petir

1) Penangkal Petir Konvensional

Teknik penangkal petir yang sederhana dan pertama kali dikenal menggunakan prinsip yang pertama, yaitu dengan membentuk semacam tameng atau perisai berupa konduktor yang akan mengambil alih sambaran petir. Penangkal petir semacam ini biasanya disebut groundwires (kawat tanah) pada jaringan

hantaran udara, sedangkan pada bangunan-bangunan dan perlindungan terhadap struktur.

Benjamin Franklin memperkenalkannya dengan sebutan lightning rod. Istilah ini tetap digunakan sampai sekarang di Amerika. Di Inggris dan beberapa Negara di Eropa menggunakan istilah lightning conductor sedang di Rusia disebut lightning mast. Penangkal petir konvensional sifatnya pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya agar pada saat step leader mendekat dan kuat medan semakin besar maka upward streamer dapat lebih cepat terbentuk mendahului objek di sekitarnya.

2) Penangkal Petir Elektrostatis

Penangkal petir elektrostatis merupakan pengembangan terhadap penangkal petir konvensional (lightning conductor). Prinsip penangkal petir elektrostatis didasarkan pada ion-ion yang dihasilkan oleh dua elektroda pada ujung penangkal petir. Di bawah pengaruh medan listrik antara awan dengan bumi, akan ada beda potensial di antara kedua elektroda. Tegangan antara kedua elektroda ini dapat menyebabkan percikan peluahan listrik membuat molekul-molekul udara di sekitar kedua elektroda mengalami ionisasi sehingga mempercepat proses terbentuknya upward streamer dari penangkal petir.

3) Dissipation Array Sistem (Lightning preventor)

Prinsip proteksi ini adalah memperkecil kemungkinan terjadinya sambaran petir. Ide untuk mencegah sambaran petir telah lama ada, mulai sekitar tahun 1754 ketika seorang ilmuwan Ceko, Prokop Divisch, memasang 216 titik runcing pada

suatu rangka kayu setinggi 7,4 m. Titik-titik tersebut dirangkai terhubung satu sama lain dan kemudia dibumikan. Beberapa tahun kemudian, Lichtenberg (1775) memberikan suatu usulan yang menyatakan bahwa kemungkinan sambaran petir pada suatu rumah dapat dicegah dengan memasang kawat berduri di atasnya.[21]

2.5.3. Bagian-Bagian Sistem Penangkal Petir

Terdapat 3 komponen utama yang ada pada penangkal petir, yaitu :

- 1) Batang Penangkal Petir Batang Penangkal Petir merupakan batang tembaga yang ujungnya berbentuk runcing, karena muatan listrik mempunyai sifat mudah berkumpul dan lepas pada ujung logam yang berbentuk runcing. Dengan demikian dapat mempermudah proses tarik menarik antara muatan listrik yang ada di awan. Batang runcing ini dipasang dibagian atas dari suatu gedung.
- 2) Kabel Konduktor Kabel Konduktor atau penghantar penangkal petir adalah jalur logam elektris yang menghubungkan antara ujung penerima sambaran kedalam tanah. Kabel ini memiliki ukuran diameter tertentu dan terdapat pada dinding bagian luar gedung.
- 3) Tempat Pembumian (Grounding) Tempat Pembumian (Grounding) berfungsi mengalirkan muatan listrik dari kabel konduktor ke batang pembumian (ground rod) yang tertanam di tanah. Batang pembumian terbuat dari bahan tembaga berlapis baja, dengan ukuran diameter 1,5 cm dan panjang sekitar 1,8 - 3 m.[22]

2.5.4. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Sistem Penangkal Petir

- 1) Lokasi geografis: Lokasi geografis suatu daerah memainkan peran penting dalam menentukan frekuensi dan intensitas sambaran petir. Daerah dengan curah hujan tinggi

dan aktivitas petir yang sering memiliki kebutuhan sistem penangkal petir yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang jarang terjadi petir.

- 2) Ketinggian bangunan: Tinggi bangunan juga berpengaruh terhadap risiko tersambar petir. Semakin tinggi bangunan, semakin besar kemungkinan tersambar petir. Oleh karena itu, bangunan tinggi perlu dilengkapi dengan sistem penangkal petir yang efektif untuk melindungi bangunan dan penghuninya.
- 3) Jenis bangunan dan struktur: Karakteristik dan jenis bahan bangunan juga mempengaruhi sistem penangkal petir yang diperlukan. Bangunan dengan struktur logam atau material konduktif lainnya dapat lebih mudah mengalirkan arus petir ke tanah daripada bangunan dengan struktur non-konduktif.
- 4) Luas area yang dilindungi: Luas area yang perlu dilindungi oleh sistem penangkal petir juga menjadi faktor penting. Semakin luas area yang perlu dilindungi, semakin kompleks dan besar sistem penangkal petir yang diperlukan untuk menutupi seluruh area tersebut.
- 5) Bahan dan jenis sistem penangkal petir yang digunakan: Pemilihan bahan dan jenis sistem penangkal petir, seperti kabel penyalur, terminal, penjepit, atau sistem penangkap petir aktif atau pasif, akan mempengaruhi kinerja sistem. Sistem penangkal petir yang tepat harus dipilih sesuai dengan karakteristik bangunan dan kebutuhan perlindungan yang diinginkan.
- 6) Kualitas instalasi dan pemeliharaan: Kualitas instalasi dan pemeliharaan sistem penangkal petir sangat penting untuk menjaga kinerja yang optimal. Instalasi yang buruk atau kurang pemeliharaan dapat mengurangi efektivitas sistem dan meningkatkan risiko kerusakan atau kegagalan sistem.

- 7) Standar dan peraturan yang berlaku: Mengacu pada standar dan peraturan yang berlaku dalam perencanaan, instalasi, dan pemeliharaan sistem penangkal petir sangat penting untuk memastikan sistem berfungsi sesuai dengan persyaratan keamanan yang ditetapkan.

2.6. Standar dan Peraturan terkait Sistem Penangkal Petir

1.6.1. SNI 03-7014.1-2004

- 1) Sistem konduktor penyalur
 - Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya latu berbahaya, konduktor penyalur harus disusun sedemikian sehingga dari titik sambaran ke bumi: a) terdapat beberapa jalur arus paralel;
 - b) panjang jalur arus diusahakan seminimum mungkin.
 - Konduktor penyalur harus disusun sedemikian sehingga sedapat mungkin berhubungan langsung dengan konduktor terminasi udara.
 - Konduktor penyalur dipasang di sekeliling batas pinggir ruang terproteksi sedemikian sehingga jarak rata-rata antara konduktor penyalur tidak lebih dari nilai yang diberikan pada Tabel 2.2. Sekurang-kurangnya digunakan 2 konduktor penyalur untuk semua kasus.

Tabel 2.2 Jarak rata-rata antara konduktor penyalur sesuai dengan tingkat proteksi

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

- Konduktor penyalur harus disalinghubungkan dengan sarana konduktor cincin mendatar dekat permukaan bumi dan dengan cincin berikutnya pada interval tegak 20 m.

2) Sistem terminasi udara

Probabilitas sambaran petir yang menembus ruang terproteksi sangat berkurang dengan adanya sistem terminasi udara yang dirancang dengan benar. Sistem terminasi udara dapat terdiri dari setiap kombinasi unsur berikut:

- a. batang;
- b. rentangan kawat;
- c. jaring konduktor.

Susunan sistem terminasi udara memadai jika persyaratan pada Tabel 2.3 telah dipenuhi. Dalam merancang sistem terminasi udara, metode berikut dapat digunakan sendiri-sendiri atau kombinasinya:

- a) sudut proteksi;
- b) bola bergulir (rolling sphere);
- c) ukuran jaring (mesh).

Tabel 2.3 Penempatan terminasi udara sesuai dengan tingkat proteksi

Tingkat Proteksi	h(m) R(m)	20	30	45	60	Lebar jaring
		α (°)	α (°)	α (°)	α (°)	
I	20	25	*	*	*	5
II	30	35	25	*	*	10
III	45	45	35	25	*	10
IV	60	55	45	35	25	20

sistem terminasi udara dapat dipasang langsung pada atap atau dengan jarak pisah yang kecil, asalkan tidak terjadi kerusakan yang disebabkan oleh efek arus petir.

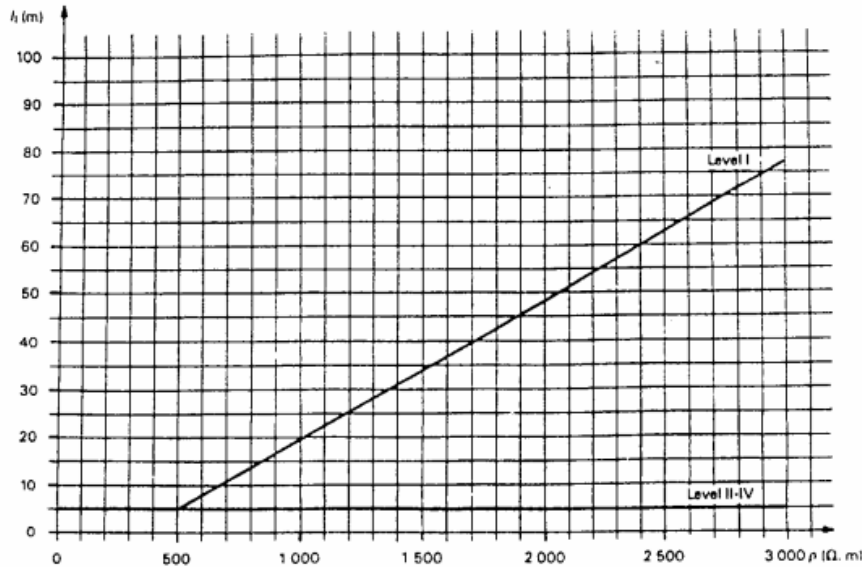
Tabel 2.4 Tebal minimum lempengan logam atau pipa logam pada sistem terminasi udara

Tingkat proteksi	Bahan	Tebal t(mm)
I Sampai dengan IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

3) Sistem terminasi bumi

Guna menyebarkan arus petir ke bumi tanpa menyebabkan tegangan lebih yang berbahaya, bentuk dan dimensi sistem terminasi bumi lebih penting dari nilai spesifik resistans elektrode bumi.

Jenis elektrode bumi berikut ini harus digunakan: satu atau lebih elektrode cincin, elektrode tegak (miring), elektrode radial, atau sebuah elektrode bumi pondasi. Pelat dan jaring kekisi pbumian kecil dapat digunakan sebagai pilihan, tetapi sebaiknya dihindari, karena kemungkinan timbulnya korosi, terutama pada sambungan. Sejumlah konduktor yang terdistribusi dengan benar lebih disukai daripada sebuah konduktor bumi tunggal yang panjang. Panjang minimum elektrode bumi berkaitan dengan tingkat proteksi untuk bermacam-macam resistivitas tanah diberikan pada Gambar 2.



Gambar 2.4 Panjang minimum elektrode bumi

(Sumber : Puil 2000)

Pada tanah dengan resistivitas rendah, panjang minimum yang dinyatakan pada Gambar 2 boleh diabaikan asalkan dicapai resistans bumi lebih kecil dari 10 Ω .

Dari sudut pandang proteksi petir, sistem terminasi bumi bangunan terpadu tunggal lebih disukai dan cocok untuk segala keperluan (misalnya: proteksi petir, sistem daya tegangan rendah, sistem telekomunikasi). Sistem terminasi bumi yang harus dipisah untuk alasan lain, sebaiknya dihubungkan pada sistem terminasi bumi terpadu dengan IPP.

Elektrode bumi cincin eksternal sebaiknya ditanam pada kedalaman paling sedikit 0,5 m tetapi tidak kurang dari 1 m terhadap dinding. Elektrode bumi harus dipasang di luar ruang terproteksi dengan kedalaman sekurang- kurangnya 0,5 m dan didistribusikan merata mungkin untuk mengurangi efek kopling listrik dalam bumi.

4) Klem dan sambungan

Terminasi udara dan konduktor penyalur harus dimagun secara kokoh sehingga gaya elektrodinamik atau mekanis yang tidak disengaja (misalnya getaran, tergelincirnya bongkahan salju dan sebagainya) tidak akan menyebabkan konduktor putus atau kendor.

Jumlah sambungan sepanjang konduktor harus diusahakan minimum. Sambungan harus dibuat kuat dengan sarana seperti pengelasan, pengelasan kuningan, penyelongsonian tekan, penyekrupan atau pemasangan baut.

Bahan yang digunakan harus tahan terhadap efek listrik dan elektromagnetik dari arus petir dan stres tak disengaja yang dapat diperkirakan tanpa kerusakan. Bahan dan ukuran harus dipilih dengan memperhatikan kemungkinan korosi pada bangunan terproteksi atau pada SPP.

5) Bahan dan Dimensi

Bahan yang digunakan harus tahan terhadap efek listrik dan elektromagnetik dari arus petir dan stres tak disengaja yang dapat diperkirakan tanpa kerusakan.

Tabel 2.5 Bahan SPP dan kondisi penggunaan

Bahan	Penggunaan			Korosi		
	Pada udara terbuka	Dalam bumi	Dalam beton	ketahanan	Meningkat karena	Elektrolitik dengan
Tembaga	Pejal Pilin Sebagai pelapis	Pejal Pilin Sebagai pelapis	-	Terhadap berbagai bahan	- Klorida konsentrasi tinggi - Kompon belerang - Bahan organik	-
Baja digalvanis panas	Pejal Pilin	Pejal	Pejal	Baik, meskipun di tanah asam	-	Tembaga

Baja tahan karat	Pejal Pilin	Pejal	-	Terhadap berbagai bahan	Air dengan larutan klorida	-
Aluminium	Pejal Pilin	-	-	-	Bahan dasar	Tembaga
Timbel	Pejal sebagai pelapis	Pejal sebagai pelapis	-	Terhadap sulfat dengan konsentrasi tinggi	Tahan asam	Tembaga

Bahan dan ukuran harus dipilih dengan memperhatikan kemungkinan korosi pada bangunan terproteksi atau pada SPP.[23]

Tabel 2.6 Dimensi minimum bahan SPP

Tingkat proteksi	bahan	Terminasi udara (mm ²)	Konduktor Penyalur (mm ²)	Terminasi bumi (mm ²)
I Sampai IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

1.6.2. PUIL-2011

Sedangkan untuk PUIL tidak berlaku untuk sistem proteksi petir eksternal untuk bangunan (SPP) Untuk proteksi terhadap sambaran petir langsung, lihat seri IEC 62305.131.6.3[24]

Susunan jala, metode sudut pelindung, sistem catenary, penggunaan finial udara secara ekstensif, semua merupakan bagian dari atau seluruh jaringan terminasi udara. Persyaratan pembumian keseluruhan 10 Ω , dicapai dengan 10 x jumlah konduktor turun. Persyaratan pembumian keseluruhan 10 Ω dicapai baik oleh susunan Tipe A (batang) atau susunan Tipe B (konduktor ring). [25]

1.6.3. Legalitas Dasar Hukum

Peraturan Menteri Tenaga Kerja Republik Indonesia Nomor PER.02/MEN/1989 tentang Pengawasan Instalasi Penyalur Petir telah diatur melalui :

1. Undang-undang No. 3 Tahun 1951 tentang Pernyataan Berlakunya Undang-undang Pengawasan Perburuhan No. 23 Tahun 1948 dari Republik Indonesia;
2. Undang-undang No. 14 tahun 1969 tentang Ketentuan-ketentuan Pokok Mengenai Tenaga Kerja;
3. Undang-undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja;
4. Keputusan Presiden RI No. 64/M Tahun 1988 tentang Pembentukan Kabinet Pembangunan V;
5. Peraturan Menteri Tenaga Kerja, Transmigrasi dan Koperasi No. PER03/MEN/1978 tentang Persyaratan Penunjukan dan Wewenang serta Kewajiban Pegawai Pengawas Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan Ahli Keselamatan Kerja;
6. Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. PER-03/MEN/1984 tentang Pengawasan Ketenagakerjaan terpadu;[26]

2.7. Earth Tester

Earth Tester merupakan alat untuk mengukur nilai resistansi dari pentanahan, Besarnya tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pentanahan dalam sistem pengamanan dalam instalasi listrik Ground resistance adalah nilai tahanan yang dimiliki tanah untuk menerima loncatan listrik dari suatu perangkat atau petir, ground resistance yang baik adalah di bawah 10 Ohm. Dan salah satu alat yang dapat kita gunakan untuk mengukur nilai ground resistance ialah earth tester, earth tester merupakan

measurement equipment yang terdiri dari beberapa display dan socket untuk pengukuran, pada umumnya terdiri dari tiga socket terminal : E = Earth Plate P = Potential Spike C = Current Spike.

Bagian Bagian Earth Tester

Earth tester memiliki dua jenis yaitu analog dan digital. Untuk memudahkan pembacaan hasil pengukuran lebih praktis menggunakan alat ukur yang digital karena memiliki hasil pengukuran dan hasil pembacaan yang lebih akurat. Earth Tester kyoritsu 4102a memiliki bagian bagian dan fungsi sebagai berikut :



Gambar 2.5 Earth Tester (sumber : <https://www.test-equipment.com.au/kyoritsu-4102a-earth-tester>)

1. Monitor (Display)

Pada display ini akan muncul hasil pengukuran berupa angka digital. Hasil pengukuran yang di peroleh akan tercatat nilai dan di belakang nilai akan tertera simbol Ω (Ohm).

2. Lampu LED Hijau (Lampu Indikator)

Lampu ini berfungsi sebagai lampu tanda . Pada saat tombol ” test “ ditekan lampu ini akan menyala yang menandakan alat ukur sedang bekerja melakukan pengukuran nilai pentanahan.

3. Tombol Test

Tombol ini berfungsi sebagai tombol yang harus di tekan pada saat akan melakukan pengukuran nilai pentanahan. Ketika tombol ini di tekan maka akan muncul angka hasil pengukuran pada display dan ketika tombol di lepas maka nilai yang tertera pada display akan jadi 0. Untuk mengunci hasil pengukuran maka tombol di tekan lalu memutar searah jarum jam hingga 90 derajat.

4. Skala Pengukuran

Skala pengukuran yang terdapat pada alat ukur adalah 20 Ω , 200 Ω ,2000 Ω . Pada saat akan melakukan pengukuran arahkan selector switch ke nilai 20 Ω jika nilai pentanahan yang akan di ukur dibawah 20 Ω . Skala pengukuran harus lebih besar dari nilai yang akan di ukur hal ini bertujuan untuk keakuratan hasil pengukuran.

5. Selector Switch

Selector Switch ini berfungsi untuk memilih skala pengukuran yang akan di gunakan pada saat akan melakukan pengukuran nilai pentanahan.

6. Kabel Hijau

Kabel hijau ini merupakan kabel bantu yang digunakan pada saat pengukuran. Kabel ini terhubung langsung ke kabel pentanahan yang di ukur nilai pentanahan nya dan ujung satunya tersambung ke alat ukur.

7. Kabel Kuning

Kabel kuning ini berfungsi sebagai kabel yang terhubung ke elektroda bantu yang jaraknya 5 – 10 meter dari lokasi penanaman elektroda dan ujung kabel ini tersambung ke alat ukur

8. Kabel Merah

Kabel merah ini berfungsi sebagai kabel yang terhubung ke elektroda bantu yang jaraknya 5 – 10 meter dari titik elektroda bantu yang menggunakan kabel kuning dan ujung kabel ini tersambung ke alat ukur.

9. Elektroda Bantu

Elektroda ini digunakan sebagai elektroda bantu pada akan dilakukan pengukuran nilai pentanahan. Elektroda bantu yang pertama di tancapkan dengan jarak 5 – 10 meter dari titik penanaman elektroda utama. Elektroda bantu yang kedua di tancapkan dengan jarak 5 – 10 meter dari titik penanaman elektroda bantu yang pertama

2.8. Pengukuran Resistansi Pada Sistem Pentanahan dan Penangkal Petir

Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan rumus maupun menggunakan alat Earth Tester. Dalam melakukan pengukuran resistansi pembumian pada elektrode yang telah terpasang maka dibutuhkan suatu alat ukur earth tester sebagai instrumen atau acuan dalam melakukan pengukuran resistansi elektrode pembumian. Metode yang digunakan adalah tiga titik yaitu tiga konektor yang ada pada alat ukur earth tester dipakai dalam melakukan pengukuran.[27]

Pengukuran sistem pentanahan dan penangkal petir menggunakan Earth Resistance Tester dilakukan untuk mengetahui kelayakan sistem pentanahan dan penangkal petir pada menara masjid agung Lamongan dengan melihat nilai resistansi yang tertera pada saat pengujian, Pengujian sistem pentanahan dan penangkal petir menggunakan Earth Resistance Tester dilakukan untuk mengetahui kelayakan sistem pentanahan dan penangkal petir pada menara masjid agung lamongan dengan melihat nilai resistansi yang tertera pada saat pengujian, Penangkal petir yang baik persyaratannya hampir sama dengan pentanahan secara umum, tetapi instalasinya harus terpisah karena peralatan-peralatan elektronik perlu dipasang perlindungan terhadap sambaran petir untuk menahan kelebihan tegangan (over voltage) yang muncul jika saluran atau catu dayanya tersambar petir. [28]

Langkah Pengukuran

Untuk mendapatkan data hasil pengukuran dilakukan langkah-langkah dengan menggunakan Metode tiga titik sebagai berikut :

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan.
2. Mengecek tegangan baterai dengan menghidupkan Earth Tester kyoritsu 4102a.
3. Periksa kondisi kabel pentanahan BC yang akan diukur. Bila kotor bersihkan dahulu permukaan kabel tersebut dengan lap bersih / kertas amplas, agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung bagian permukaan tembaga yang sudah bersih dan untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan pada alat ukur.
4. Earth Tester mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kebel merah, kuning dan hijau.
5. Menentukan jarak antar elektroda bantu minimal 5 meter dan maksimal 10 meter.

6. Hubungkan juga kabel hitam ke pentanahan yang Sudah terpasang.
7. Lakukan pengukuran pentanahan (tahanan pembumian) dengan menekan Selector Switch alat ukur pada posisi 4 ohm tergantung dari kondisi tanah pada area setempat yang akan diukur.
8. Kemudian tekan tombol “ MEASURE ” pada Earth Tester untuk mengetahui resistansi pentanahan .pada displai alat ukur akan muncul nilai tahanan pembumian
9. Mencatat nilai tahanan yang muncul pada layar Earth Tester
10. Selesai, nilai resistansi pentanahan sudah diketahui.

2.9. Parameter Kelayakan Sistem Pentanahan dan Penangkal Petir

Parameter kelayakan sistem pentanahan dan penangkal petir dapat mencakup beberapa faktor penting yang perlu dipertimbangkan. Beberapa parameter yang biasanya dievaluasi dalam studi kelayakan sistem pentanahan dan penangkal petir adalah sebagai berikut:

1. Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents)
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.[29]