

JURNAL ELEKTRO

Lemari Pengering Pakaian Menggunakan Heater Berbasis Arduino Mega 2560,
Oleh : Lukman Aditya, Didi Wahyudin

Rancang Bangun dan Analisis Kinerja Band Pass Filter Untuk Perangkat Radio
Komunikasi 420 – 430 MHz, Oleh: Slamet Purwo S., Parlaungan Nasution

Rancang Bangun Sistem Absensi Dengan Pemeriksaan Suhu Tubuh Berbasis
Arduino ATmega2560, Oleh: Sri Hartanto , Andre Dwi Prabowo

Analisa Sistem Proteksi Petir Eksternal Tipe Elektrostatis Di PT.
PAMAPERSADA NUSANTARA DISTRIK CCOS Cileungsi – Bogor, Oleh:
Nurhabibah Naibaho, Allidlah Imam Sofiyani

Rancang Bangun Alat Peringatan Dini Banjir Menggunakan Mikrokontroler
ATMEGA8535 Dan Node MCU ESP8266, Oleh: Tri Ongko P., Nurbayan

Analisis Optimasi Keandalan Melalui Looping 3 IBT Di Subsistem Cilegon
Menuju Zero Blackout Provinsi Banten, Oleh: Ujang Wiharja, Sapto
Agung Nugroho

Rancang Bangun Alat *Hand Sanitizer* Otomatis Menggunakan Arduino Uno
R3 ATmega 328 Dan Sensor Infrared, Oleh Abdul Kodir Al Bahar, Farihin
Asyjar Ashfahani

Optimalisasi Trafik Voice Dan ENoneB Dengan Migrasi Media Transmisi
Radio Microwave Menjadi Fiber Optik (Studi Kasus Site Harapan Jaya
Bekasi), Oleh: Teten Dian Hakim, Doni Ramadhan

Penerbit

UNIVERSITAS KRISNADWIPAYANA

(Dikelola oleh FT Prodi Teknik Elektro)

ANALISA SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL TIPE ELEKTROSTATIS DI PT. PAMAPERSADA NUSANTARA DISTRIK CCOS CILEUNGSI – BOGOR

Nurhabibah Naibaho, Allidlah Imam Sofiyon

Abstract - Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak di garis khatulistiwa dan beriklim tropis oleh sebab itu intensitas sambaran petir di Indonesia sangatlah tinggi. Mengingat bahaya dan kerusakan yang ditimbulkan akibat adanya sambaran petir langsung atau tidak langsung, maka muncul usaha untuk mengatasi sambaran petir dengan sistem proteksi petir. Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-7015-2004) adalah salah satu acuan yang digunakan untuk sistem proteksi petir. Pembahasan yang diangkat pada penelitian ini adalah sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatis di PT. Pamapersada Nusantara Ditrik CCOS Cileungsi-Bogor. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif. Pengumpulan data dilakukan dengan dokumentasi dan observasi komponen sistem proteksi petir, dengan mengukur tahanan pentanahan, pengukuran dimensi bangunan, luas area dan melakukan uji konektivitas. Hasil pengukuran dan analisa menunjukkan bahwa untuk area di PT. Pamapersada Nusantara Ditrik CCOS Cileungsi-Bogor sangat perlu sistem proteksi dengan taksiran resiko total indeks R sebesar 15 berdasarkan PUIPP dan hasil taksiran resiko dari perhitungan E adalah 0,978 dengan tingkat proteksi I pada penghitungan berdasarkan SNI 03-7015-2004. Terdapat tiga unit sistem proteksi petir eksternal tipe elektrostatis, pada masing-masing unit menghasilkan radius proteksi seluas 45.216 m² dan dengan sudut 48,5°, konduktor penyalur menggunakan kabel N2XSY dan NYY dengan diameter 70 mm², nilai rata-rata hasil pengukuran tahanan pentanahan area proteksi A 2,04 Ω, area B 1,62Ω, area C 2,22Ω dan telah memenuhi ketentuan PUIL 2000 yaitu $\leq 5 \Omega$.

Kata kunci : sistem, poteksi, petir, eksternal, elektrostatis

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang secara geografis terletak di garis khatulistiwa dan beriklim tropis oleh sebab itu intensitas sambaran petir di Indonesia sangatlah tinggi. Menurut data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada bulan Desember 2020 untuk wilayah JABODETABEK terjadi 30.000 – 45.000 kali sambaran petir, total sambaran petir di bulan Januari sampai dengan Desembe 2020 tercatat lebih dari 600.000 kali sambaran. Mengingat kerusakan yang dapat

ditimbulkan akibat sambaran petir, munculah berbagai usaha untuk mengatasi sambarannya. Di dalam bidang teknik listrik dikenal sebagai usaha proteksi petir. Dalam usaha proteksi petir ini tentu dibutuhkan pengetahuan tentang petir dan karakteristik-karakteristiknya. Dalam hal ini termasuk proteksi petir itu sendiri. Konstruksi bangunan tinggi dan area yang luas banyak menimbulkan permasalahan terutama mengenai perlindungan keamanan bangunan, karena struktur bangunan yang

tinggi sangat rawan mengalami gangguan baik secara mekanik maupun gangguan alam (petir) oleh sebab itu perlu dibuat proteksi petir di dalam melindungi dan mengurangi dampak kerusakan akibat sambaran petir di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi-Bogor. PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor merupakan sebuah *support office* perusahaan yang berada di dalam Kawasan Industri Menara Permai Cileungsi – Bogor dimana terdapat bangunan yang difungsikan sebagai tempat *training centre*, *logistic* dan tempat *heavy equipment recondition*.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Petir

Petir, kilat, atau halilintar adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan di saat langit memunculkan kilatan cahaya sesaat yang menyilaukan. Beberapa saat kemudian disusul dengan suara menggelegar yang disebut guruh. Perbedaan waktu kemunculan ini disebabkan adanya perbedaan antara kecepatan suara dan kecepatan cahaya. Petir merupakan gejala alam yang bisa kita analogikan dengan sebuah kondensator raksasa, dimana lempeng pertama adalah awan (bisa lempeng negatif atau lempeng positif) dan lempeng kedua adalah bumi (dianggap netral). Seperti yang sudah diketahui kapasitor adalah sebuah komponen pasif pada rangkaian listrik yang bisa menyimpan energi sesaat (*energy storage*). Petir juga dapat terjadi dari awan ke awan (*intercloud*), dimana salah satu awan bermuatan negatif dan awan lainnya bermuatan positif. Petir terjadi karena ada perbedaan potensial antara awan dan bumi atau dengan awan lainnya. Proses terjadinya muatan pada awan karena dia bergerak terus menerus secara teratur, dan selama pergerakannya dia akan berinteraksi dengan awan lainnya sehingga muatan negatif akan berkumpul pada salah satu sisi (atas atau bawah), sedangkan muatan positif berkumpul pada sisi sebaliknya. Jika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, maka akan terjadi pembuangan

muatan negatif (elektron) dari awan ke bumi atau sebaliknya untuk mencapai kesetimbangan. Pada proses pembuangan muatan ini, media yang dilalui elektron adalah udara. Pada saat elektron mampu menembus ambang batas isolasi udara inilah terjadi ledakan suara. Petir lebih sering terjadi pada musim hujan, karena pada keadaan tersebut udara mengandung kadar air yang lebih tinggi sehingga daya isolasinya turun dan arus lebih mudah mengalir. Karena ada awan bermuatan negatif dan awan bermuatan positif, maka petir juga bisa terjadi antar awan yang berbeda muatan[8].

2.2 Proses Terjadinya Petir

Petir adalah peristiwa alam yang sering terjadi di bumi, terjadinya seringkali mengikuti peristiwa hujan baik air atau es, peristiwa ini dimulai dengan munculnya lidah api listrik yang bercahaya terang yang terus memanjang ke arah bumi dan kemudian diikuti suara yang menggelegar dan efeknya akan fatal bila mengenai makhluk hidup, bangunan dan peralatan lainnya. Terdapat 2 teori yang mendasari proses terjadinya petir [8]:

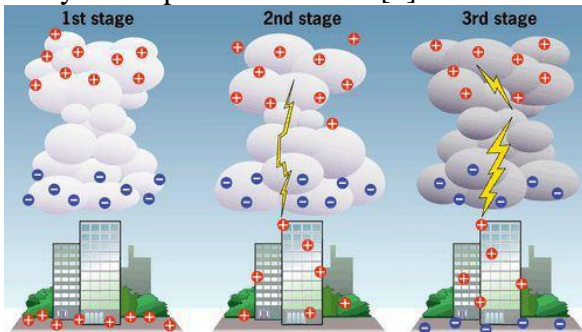
1. Proses ionisasi

Petir terjadi diakibatkan terkumpulnya ion bebas bermuatan negatif dan positif di awan, ion listrik dihasilkan oleh gesekan antar awan dan juga kejadian ionisasi ini disebabkan oleh perubahan bentuk air mulai dari cair menjadi gas atau sebaliknya, bahkan padat (es) menjadi cair. Ion bebas menempati permukaan awan dan bergerak mengikuti angin yang berhembus, bila awan-awan terkumpul di suatu tempat maka awan bermuatan akan memiliki beda potensial yang cukup untuk menyambar permukaan bumi maka inilah yang disebut petir[8].

2. Gesekan antar awan

Pada awalnya awan bergerak mengikuti arah angin, selama proses Bergeraknya awan ini maka saling bergesekan satu dengan yang lainnya, dari proses ini terlahir elektron-elektron bebas yang memenuhi permukaan awan. proses ini bisa digambarkan secara

sederhana pada sebuah penggaris plastik yang digosokkan pada rambut maka penggaris ini akan mampu menarik potongan kertas. Pada suatu saat awan ini akan terkumpul di sebuah kawasan, saat inilah petir dimungkinkan terjadi karena electron-elektron bebas ini saling menguatkan satu dengan lainnya. Sehingga memiliki cukup beda potensial untuk menyambar permukaan bumi[8].



Gambar 1. Proses ionisasi terjadinya petir

2.3 Efek Sambaran Petir

Bagian utama kilat petir yang menimbulkan kerusakan adalah sambaran balik. Ini adalah bagian kilat, yang berupa muatan petir yang diluahkan ke bumi atau ketanah. Besar arus yang mengalir pada sambaran ini adalah berkisar antara 2.000 A sampai 200 kA[4].

Terhadap Manusia

Apabila aliran listrik akibat sambaran petir mengalir melalui tubuh manusia, maka organ-organ tubuh yang dilalui oleh aliran tersebut akan mengalami kejutan (*shock*). Arus tersebut dapat menyebabkan berhentinya kerja jantung. Selain itu, efek rangsangan dan panas akibat arus petir pada organ-organ tubuh dapat juga melumpuhkan jaringan-jaringan / otot-otot bahkan bila energinya besar dapat menghanguskan tubuh manusia. Perlu diketahui, yang menyebabkan kematian sambaran tidak langsung, karena di sekitar titik / tempat yang terkena sambaran akan terdapat muatan listrik dengan kerapatan muatan yang besar dimana muatan itu akan menyebar di dalam tanah dengan arah radial.

Terhadap Bangunan

Kerusakan tersebut dapat berupa kerusakan *thermis*, seperti terbakar pada bagian yang tersambar, bisa juga berupa mekanis, seperti

atap runtuh, bangunan retak dan lain-lain. Bahan bangunan yang paling parah bila terkena sambaran petir adalah yang bersifat kering

Terhadap Jaringan dan Instalasi Listrik

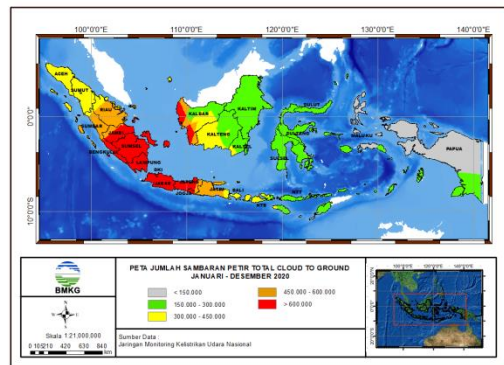
Gangguan jenis ini dikelompokkan menjadi 2 bagian yaitu sambaran petir mengenai kawat tanah dan sambaran petir mengenai kawat fasa. Sambaran petir langsung mengenai kawat tanah dapat mengakibatkan terputusnya kawat tanah, naiknya potensial kawat tanah yang diikuti oleh *backflashover* ke kawat fasa dan naiknya potensial pentanahan menara transmisi yang menyebabkan bahaya tegangan langkah.

Terhadap Peralatan Elektronik dan Listrik

Sambaran petir pada suatu struktur bangunan maupun saluran transmisi mengakibatkan kerusakan peralatan elektronik, *control*, *computer*, telekomunikasi dan lainnya yang disebabkan oleh sambaran petir langsung dan sambaran petir tidak langsung

2.4 Peta Jumlah Sambaran Petir

Dalam menganalisa sistem proteksi terhadap sambaran petir digunakan data hari guruh bulanan di Indonesia yang dapat diamati dari website maupun stasiun Pusat BMKG yang beralamat di Jalan Angkasa I No.2 Kemayoran Jakarta Pusat, DKI Jakarta.



Gambar 2. Peta Jumlah Sambaran Petir[3]

2.5 Taksiran Resiko (Risk Assesment)

sistem proteksi petir harus dapat melindungi semua bagian dari suatu bangunan, termasuk manusia dan peralatan yang ada di dalamnya terhadap sambaran petir. Berikut ini akan dibahas cara penentuan besarnya kebutuhan bangunan akan proteksi petir menggunakan

standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) dan SNI 03-7015-2004.

Menurut Standar PUIPP:Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan suatu instalasi proteksi petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerugian serta bahaya yang ditimbulkan bila bangunan tersebut tersambar petir. Besarnya kebutuhan tersebut dapat ditentukan secara empiris berdasarkan indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu, sehingga dapat didapat perkiraan bahaya akibat sambaran petir (R) adalah :

$$R=A+B+C+D+E.....(2.1)$$

Keterangan :

- A : Bahaya berdasarkan jenis bangunan
 - B : Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan
 - C : Bahaya berdasarkan tinggi bangunan
 - D : Bahaya berdasarkan situasi bangunan
 - E : Bahaya berdasarkan hari guruh terjadi
- Apabila data-data yang ada dimasukkan dalam persamaan diatas, selanjutnya dapat diambil kesimpulan perlu atau tidaknya sistem proteksi petir eksternal digunakan. Jika nilai $R > 13$, maka bangunan tersebut dianjurkan menggunakan sistem proteksi petir.

Tabel 1. Indeks A : Bahaya Berdasarkan Penggunaan dan Isi[7]

Penggunaan dan isi	Indeks A
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya.	-10
Bangunan dan isinya jarang dipergunakan, misalnya di tengah sawah atau ladang, menara atau tiang dari metal.	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal, misalnya rumah tinggal, industri kecil atau stasiun kereta api.	1
Bangunan yang isinya cukup penting, misalnya menara air, toko barang-barang berharga, dan kantor pemerintah.	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, misalnya bioskop, sarana ibadah, sekolah, dan monumen sejarah yang penting.	3
Instalasi gas, minyak atau bensin, dan rumah sakit.	5
Bangunan yang mudah meledak dan menimbulkan bahaya yang tidak terkendali bagi sekitarnya, misalnya instalasi nuklir.	15

Tabel 2 Indeks B : Bahaya Berdasarkan Kontruksi Bangunan[7]

Tabel 3 Indeks C : Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan[7]

Tabel 4 Indeks D : Bahaya Berdasarkan Situasi Bangunan[7]

Tabel 5 Indeks E : Bahaya Berdasarkan Pengaruh Kilat/Hari Guruh[7]

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

R	Perkiraan bahaya	Pengamanan
Dibawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
12	Sedang	Dianjurkan
13	Agak besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
Lebih dari 14	Sangat besar	Sangat perlu

Dengan menjumlahkan indeks-indeks tersebut diperoleh suatu perkiraan bahaya yang ditanggung bangunan dan tingkat pengamanan yang harus diterapkan.

Tabel 6 Indeks R : Perkiraan Bahaya Sambaran Petir Berdasarkan PUIPP[7] Menurut Standar SNI (03-7015-2004): Pemilihan tingkat proteksi yang memadai

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

untuk suatu sistem proteksi petir berdasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat (Nd) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (Nc) yang diperbolehkan. Kerapatan kilat petir ketanah atau kerapatan sambaran petir ke tanah rata-

rata tahunan di daerah tempat suatu struktur berada dinyatakan sebagai :

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} / \text{km}^2 / \text{tahun} \dots\dots\dots(2.2)$$

Td adalah jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data *sokeraunic* level di daerah tempat struktur yang akan di proteksi yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung ke bangunan dapat di hitung :

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} / \text{tahun} \dots\dots\dots(2.3)$$

Ae adalah area cakupan ekivalen dari bangunan (m²) yaitu daerah permukaan tanah yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan.

Area cakupan ekivalen tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$A_e = ab + 6h (a + b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

a : panjang dari bangunan tersebut (m)

b : lebar dari bangunan tersebut (m)

h : tinggi bangunan yang diproteksi (m)

pengambilan keputusan perlu tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan Nd dan Nc dilakukan sebagai berikut :

a. Jika $N_d \leq N_c$ tidak perlu sistem proteksi

b. Jika $N_d \geq N_c$ diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi :

$$E = 1 - N_d / N_c \dots\dots\dots(2.5)$$

Maka setelah di hitung nilai E (efisiensi sistem proteksi petir) sesuai dengan persamaan di atas, setelah itu dapat ditentukan tingkat proteksinya sesuai dengan tingkat proteksi dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Efisiensi Sistem Proteksi Petir[12]

Setelah diketahui tingkat proteksi, maka dapat ditentukan sudut proteksi (α^0) dari penempatan suatu terminasi udara, radius bola yang dipakai, maupun ukuran jala

(konduktor horisontal) sesuai dengan Tabel 8.

Tabel 8 Daerah Proteksi dari Terminasi Udara Sesuai dengan tingkat proteksi[12]

Tingkat Proteksi	H	20	30	45	60	Lebar Mata
	R	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
*hanya menggunakan bola bergulir dan jala dalam kasus ini						

2.6 Jenis-Jenis Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan

Proteksi Petir konvensional

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*. Proteksi petir konvensional sifatnya pasif, menunggu petir untuk menyambar dengan mengandalkan posisinya yang lebih tinggi dari objek sekitar serta ujung runcingnya[1] berikut tipe proteksi petir konvensional:

1. Tipe *Franklin rod* menempatkan sebuah batang proteksi petir dengan ujungnya dibuat runcing di bagian teratas dari bagian yang akan dilindungi. Ujung batang proteksi petir ini dibuat runcing dengan tujuan agar pada keadaan dimana terjadi aktivitas penumpukan muatan di awan, maka diujung itulah akan terinduksi muatan dengan rapat muatan yang relatif lebih besar bila dibandingkan dengan rapat muatan dari muatan-muatan yang terdapat pada bagian-bagian lain dari bangunan, dengan demikian dapat diharapkan bahwa kilat akan menyambar ujung dari batang proteksi petir itu terlebih dahulu.

2. Tipe sistem Sangkar Faraday dapat dikatakan sama dengan sistem proteksi petir

Franklin. Perbedaannya hanyalah terletak dalam segi penggunaan Ujung Proteksi dimana bila pada sistem proteksi petir *Franklin* digunakan batang-batang proteksi petir yang vertikal, maka pada sistem Sangkar Faraday digunakan konduktor-konduktor horisontal.

Proteksi Petir Radioaktif

Metode ini pertama kali dipatenkan oleh Gusta P Carpart tahun 1931. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, Szillard tahun 1941 pernah melontarkan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada *Franklin rod* guna meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Metode ini terdiri atas *Franklin rod* dengan bahan radioaktif *radium* atau sumber *thorium* sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui penghantar khusus. Sistem proteksi petir *Early Streamer Emission* adalah pendekatan relatif terbaru dalam penyelesaian masalah kerusakan instalasi petir, yang dilengkapi dengan system *FR. ESE* adalah terminal udara radioaktif non konvensional, tetapi banyak negara telah melarang hal ini, bahwasannya sumber radioaktif yang posisinya dekat dengan bagian atas terminal membahayakan kesehatan. Peralatan *ESE non* radioaktif yang banyak digunakan adalah *Pulsar* (dikembangkan oleh Helita, Perancis), *Dynasphere* (dikembangkan oleh Erico, Australia), *Prevector* (dikembangkan oleh Indelec, Perancis) dan *EF* (dikembangkan EF International,Swiss).

Proteksi petir elektrostatik

Proteksi petir elektrostatik adalah disebut juga dengan proteksi petir radius yang cara kerjanya menggunakan prinsip kerja elektroskop, dimana pada ujungnya (*head terminal*) dibuat agar petir hanya mengenai ujung proteksi petir ini dan tidak mengenai sasaran lain dalam radius perlindungan proteksi petir. Dalam sejarahnya, proteksi petir elektrostatik merupakan jenis proteksi petir ketiga dan paling modern saat ini setelah kedua pendahulunya yaitu proteksi petir konvensional dan proteksi petir radioaktif. proteksi petir. Dalam

sejarahnya, proteksi petir elektrostatis merupakan jenis proteksi petir ketiga dan paling modern saat ini setelah kedua pendahulunya yaitu proteksi petir konvensional dan proteksi petir radioaktif. Pada ujung proteksi petir elektrostatis terdapat sebuah elektroda yang disebut dengan *E.S.E (Early Steamer Emission)* dimana elektroda ini akan aktif melepaskan ion ke udara meskipun tidak ada sambaran petir. Jika pada saatnya ada potensi terjadinya petir hal ini merupakan penunjuk jalan bagi petir untuk segera menyambarnya daripada memilih sambaran di tempat lain. Oleh karena itu jenis proteksi petir elektrostatis lebih aman dan lebih baik dalam melindungi bangunan dari petir jika dibandingkan dengan proteksi petir konvensional. Selain itu area perlindungannya juga lebih luas, tergantung ketinggian pemasangan proteksi petir.



Gambar 3. Terminal Udara Elektrostatis[4]

2.7 Sistem Proteksi Petir Eksternal

Sistem Proteksi Petir Eksternal menghindari bahaya langsung dari sambaran petir pada bangunan, peralatan, manusia dan lainnya Sistem Proteksi Petir Eksternal pada dasarnya terdiri dari:

1)Terminasi udara (*Air Terminal*)

Untuk menentukan penempatan terminasi udara dan untuk mengetahui daerah proteksi, maka menggunakan metode-metode yang terdapat dalam SNI 03-7015-2004, yaitu :

- Metode sudut proteksi (*Protective Angle Method*)
- Metode bola bergulir (*Rolling Sphere Method*)
- Metode jala (*Mesh Sized Method*)

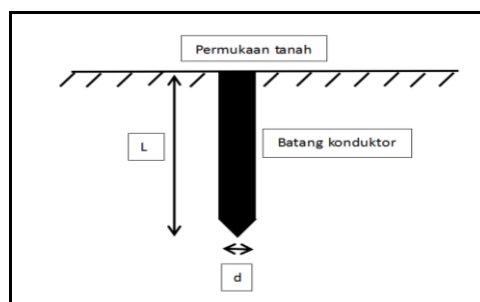
2)Konduktor penyalur (*Down Conductor*)
Down Conductor berfungsi sebagai penyalur arus petir yang mengenai Terminasi udara (*air terminal*) dan diteruskan ke pentanahan / *grounding*. Ukuran minimum bahan SPP dipakai dalam standar ini untuk penggunaan konduktor penyalur (*Down Conductor*) terdapat pada Tabel 9.

Tabel 9 Dimensi minimum bahan SPP untuk penggunaan konduktor Penyalur[12]

Tingkat Proteksi	Bahan	Konduktor Penyalur (mm ²)
I sampai IV	Cu	35
	Al	70
	Fe	50

3) Pentanahan (*Grounding*)

Sistem pentanahan proteksi petir (*Grounding System*) adalah suatu rangkaian instalasi dan tertanam didalam tanah yang berfungsi untuk melepaskan arus petir ke dalam bumi. Nilai standar tahanan mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000 yaitu $\leq 5\Omega$. Pada dasarnya ada 3 (tiga) jenis elektroda yang digunakan pada sistem pentanahan yaitu : Elektroda Batang, Elektroda Pelat dan Elektroda Pita. Elektroda – elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun *multiple* dan juga secara gabungan dari ketiga jenis dalam suatu system.



Gambar 4. Pentanahan Dengan Satu Batang Elektroda[4]

Batang-batang konduktor ini dihubungkan satu dengan yang lainnya. Dengan menggunakan efek bayangan terhadap permukaan elektroda terhadap permukaan tanah, maka didapat suatu persamaan :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \times \ln \left[\frac{4L^2}{dh} - Q \right] \dots\dots\dots(2)$$

6)

Dimana :

R = tahanan pentanahan Ω

ρ = tahanan jenis tanah Ω

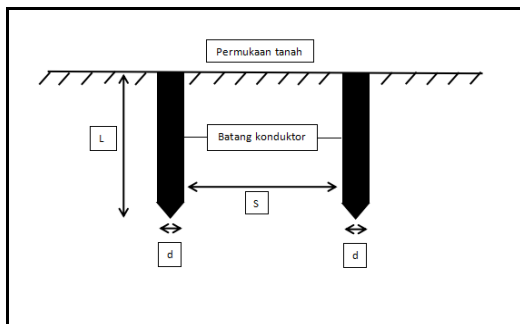
L = panjang elektroda (meter)

d = diameter elektroda (meter)

h = kedalaman elektroda (meter)

Q = konstanta (1,2)

Jika dilihat dari rumus diatas, maka makin panjang konduktor yang ditanam dalam tanah, makin kecil tahanan pentanahannya. Demikian juga makin besar diameter konduktor juga makin kecil tahanan pentanahannya. Tahanan pentanahan dapat diperkecil dengan memperbanyak elektroda yang ditanam dan dihubungkan paralel.



Gambar 5. Pentanahan Dengan Dua Batang Elektroda[4]

Pada dua batang konduktor, dapat diturunkan rumusnya sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left\{ \ln \frac{4L}{a} - 1 + \ln (2L + \sqrt{S^2 + 4L^2}) + \frac{S}{2L} - \frac{\sqrt{S^2 + 4L^2}}{2L} \right\} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

S = jarak antara dua konduktor

Beberapa batang konduktor (*multiple rod*) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah yaitu dengan metode pentanahan bersama yaitu :

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5}} \dots\dots\dots(2)$$

.8)

Jika di asumsikan tahanan pentanahan pada daerah bangunan adalah sama, maka dapat berlaku persamaan berikut :

$$R_{tot} = \frac{1}{n \times \frac{1}{R_1}} \dots\dots\dots(2)$$

.9)

Dimana :

n = jumlah elektroda batang

R₁ = tahanan pentanahan sama untuk n buah

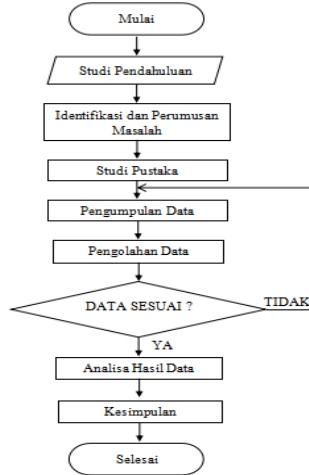
Ω

III. METODE PENELITIAN

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode observasi, pengukuran, studi pustaka dan wawancara. Observasi dilakukan dengan cara pengamatan secara langsung. Hasil observasi yaitu; gambar instalasi sistem proteksi petir, data denah area dan data hari guruh. Pengukuran dilakukan untuk mendapatkan data tahanan pentanahan dan dimensi bangunan. Studi pustaka dilakukan dengan mempelajari aspek teoritis dari berbagai referensi untuk memperoleh rumusan dan standar-standar yang digunakan dalam menganalisa sistem proteksi petir. Adapun standar yang digunakan adalah Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), Standar Nasional Indonesia SNI 03-7015-2004, dan PUIL 2000 Wawancara dilakukan guna melengkapi data-data yang dibutuhkan sekiranya belum tertulis dengan mengajukan pertanyaan-pertanyaan yang berhubungan dengan objek yang dianalisa kepada *Maintenance Departement General Service*. Langkah selanjutnya menganalisa data. melakukan analisa perhitungan terhadap data-data yang diperoleh untuk menentukan tingkat proteksi berdasarkan standar Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP), SNI 03-7015-2004 dan PUIL 2000 Setelah mengetahui langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa perhitungan radius proteksi petir eksternal elektrostatis, untuk konduktor penyalur berdasarkan standar SNI 03-7015-2004 dilihat dari ukuran minimum bahan yang digunakan. Pentanahan

berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000 dilihat dari tahanan pentanahan yang didapatkan dari hasil pengukuran dan perhitungan berdasarkan ketentuan rumus yang berlaku kemudian membandingkan hasil antara pengukuran dan perhitungan tahanan pentanahan.

3.2 Tahapan Penelitian



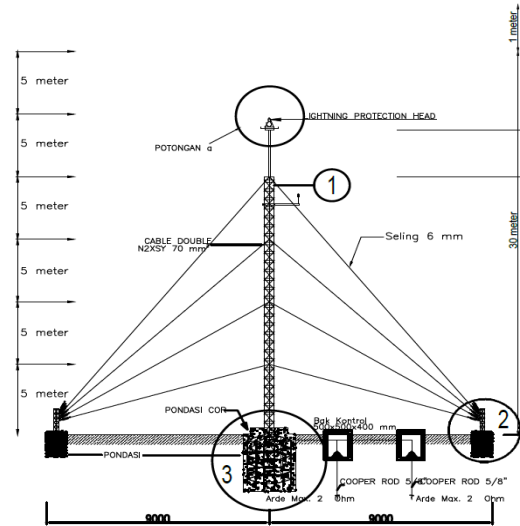
Gambar 6. Bagan Alir

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

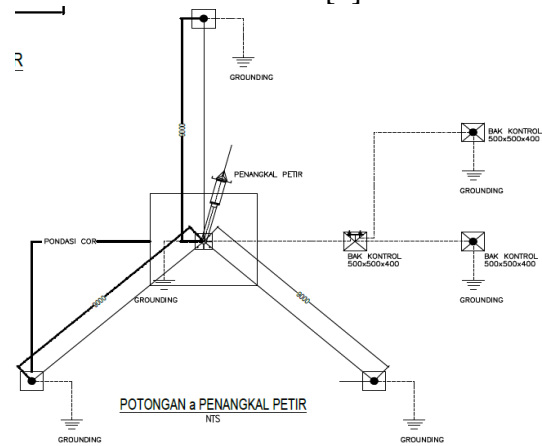
Penelitian dilaksanakan tanggal 05 November 2020 hingga 22 Januari 2021 di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

3.4 Data Peralatan Sistem Proteksi Petir Di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor

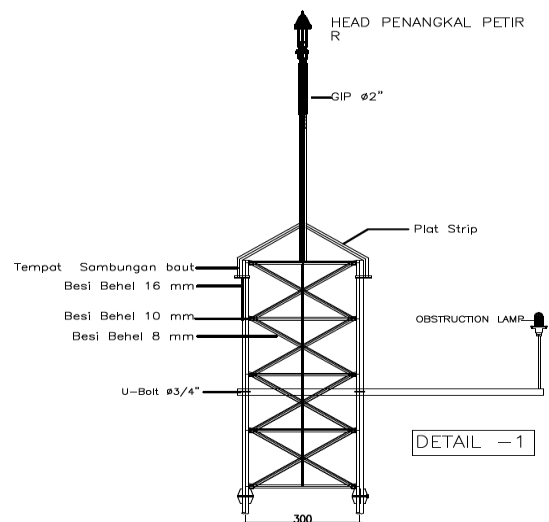
- Tipe : *Triangle* Elektrostatik
- Tinggi tiang penerima : 30 meter
- Model tiang : Tiang *Triangle*
- Bentuk elektroda : Bola Segitiga
- Jenis penghantar : Kabel N2XS_Y 70mm²
- Jenis pentanahan : BC Drat
- Terminasi udara total : 3 Buah
- Konduktor penyalur : 3 Buah
- Pentanahan : 6 Buah



Gambar 7. Detail Tampak Samping Proteksi Petir[6].



Gambar 8. Potongan Tampak Atas Proteksi Petir[6].



Gambar 9. Detail Head Proteksi Petir[6]

IV. HASIL PENGUKURAN

Berdasarkan penelitian diperoleh beberapa hasil observasi lapangan yaitu berupa data instalasi sistem proteksi petir, gambar denah dan data hari guruh, serta hasil wawancara Berikut ini merupakan hasil penelitian mengenai analisa sistem proteksi petir di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

Tabel 10. Dimensi Bangunan di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

No.	Area	Bangunan	Panjang (meter)	Lebar (meter)	Tinggi (meter)	Luas (meter ²)
1.	A	Pos Security	4	6	4	24
2.		Office Plant	18	23,04	6	414,84
3.		Main Workshoop	15	31,2	12	468
4.		Workshoop SSE	7,5	31,6	6	237,26
5.		Power House	6,52	17	6	111
6.		Parkir Alat Berat 1	57	130	0	7410
7.		Masjid	24	19,5	6	468
8.		Ruang Resepsionis	3	7	4	21
9.		Stok Yard 1	47,6	49,45	0	2355
10.	B	Office Warehouse	25,6	42	6	1077
11.		Kantin Warehouse	6	12,75	6	76,50
12.		Stok Yard 2	15,05	19	0	286
13.		Gudang File	17,28	25	6	432
14.		Gudang Ban	30	53,8	12	1616
15.		Gudang oli dan fuel	10	24	10	240
16.		Gudang Warehouse	12	58	10	700
17.		Parkir Alat Berat 2	100	125	0	12500
18.		Parkir Alat Berat 3	72	95	0	6840
19.	C	Aula	25	45	8	1125
20.		Ruang Server	7,1	30	6	222
21.		Water Tank	8	10	5	80
22.		Mess A	10	49,168	15	491,69
23.		Mess B	10	42,48	15	424,80
24.		Mess C	14	56	5	785
25.		Mess D	23	50	5	1150
26.		Kantin Lama	12	23	6	276
27.		Kantin Baru	10	25	7	250
28.		Ruang Simulator	12	12,5	6	200
29.		TC 1	11,1	60	6	667
30.		TC 2	14	35	6	490
31.	Tower ERT	7,5	8	30	60	

Pada tabel 10. dimensi bangunan di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor dilakukan pengukuran pada tanggal 5 November 2020 sampai dengan 27 November 2020 dengan menggunakan alat ukur *convax scale*, pengukuran dengan via google map dan referensi dokumen *General Service Manintenance* PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

Tabel 11. Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan Sistem Proteksi Petir di PT.

Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

No.	Area	Bangunan	Syarat	Perhitungan	Hasil Pengukuran	Jenis Tanah	Alat ukur	Keterangan
1.	A	Pos Security	≤ 5 Ω	R _{tot} = 2,265 Ω	1 = 2,2 Ω 2 = 2,0 Ω 3 = 1,9 Ω 4 = 2,1 Ω 5 = 2,0 Ω R _{rata rata} : 2,04 Ω	Ground well dan spring water	Earth resistance tester Kyoritsu 41054A dan comex scale	Memenuhi Syarat
2.		Office Plant						
3.		Main Workshoop						
4.		Workshoop SSE						
5.		Power House						
6.		Parkir Alat Berat 1						
7.		Masjid						
8.		Ruang Resepsionis						
9.		Stok Yard 1						
10.	B	Office Warehouse	≤ 5 Ω	R _{tot} = 2,265 Ω	1 = 1,7 Ω 2 = 1,6 Ω 3 = 1,7 Ω 4 = 1,6 Ω 5 = 1,5 Ω R _{rata rata} : 1,62 Ω	Ground well dan spring water	Earth resistance tester Kyoritsu 41054A dan comex scale	Memenuhi Syarat
11.		Kantin Warehouse						
12.		Stok Yard 2						
13.		Gudang File						
14.		Gudang Ban						
15.		Gudang oli dan fuel						
16.		Gudang Warehouse						
17.		Parkir Alat Berat 2						
18.		Parkir Alat Berat 3						
19.	C	Aula	≤ 5 Ω	R _{tot} = 2,265 Ω	1 = 2,5 Ω 2 = 2,0 Ω 3 = 2,1 Ω 4 = 2,3 Ω 5 = 2,2 Ω R _{rata rata} : 2,22 Ω	Ground well dan spring water	Earth resistance tester Kyoritsu 41054A dan comex scale	Memenuhi Syarat
20.		Ruang Server						
21.		Water Tank						
22.		Mess A						
23.		Mess B						
24.		Mess C						
25.		Mess D						
26.		Kantin Lama						
27.		Kantin Baru						
28.		Ruang Simulator						
29.		TC 1						
30.		TC 2						
31.	Tower ERT							

Tabel 12. Hasil Uji Konektifitas Sistem Proteksi Petir di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

No.	Area	Bangunan	Uji Konektifitas	Terukur	Keterangan
1.	A	Pos Security	Terhubung	0 ohm / bunyi buzzer dengan multitester	Kondisi Baik
2.		Office Plant			
3.		Main Workshoop			
4.		Workshoop SSE			
5.		Power House			
6.		Parkir Alat Berat 1			
7.		Masjid			
8.		Ruang Resepsionis			
9.		Stok Yard 1			
10.	B	Office Warehouse	Terhubung	0 ohm / bunyi buzzer dengan multitester	Kondisi Baik
11.		Kantin Warehouse			
12.		Stok Yard 2			
13.		Gudang File			
14.		Gudang Ban			
15.		Gudang oli dan fuel			
16.		Gudang Warehouse			
17.		Parkir Alat Berat 2			
18.		Parkir Alat Berat 3			
19.	C	Aula	Terhubung	0 ohm / bunyi buzzer dengan multitester	Kondisi Baik
20.		Ruang Server			
21.		Water Tank			
22.		Mess A			
23.		Mess B			
24.		Mess C			
25.		Mess D			
26.		Kantin Lama			
27.		Kantin Baru			
28.		Ruang Simulator			
29.		TC 1			
30.		TC 2			
31.	Tower ERT				

Pengukuran tahanan pentanahan dan uji konektifitas pada sistem proteksi petir menggunakan alat ukur *Earth resistance*

tester Kyoritsu41054A, convex scale dan multimeter. Pada hasil pengukuran terukur nilai resistansi pentanahan <5Ω dan uji konektifitas terukur 0Ω / buzzer berbunyi dan kondisi baik.

Analisa dan Pembahasan

Pada analisa dan pembahasan disampaikan mengenai taksiran resiko yang berdasarkan Peraturan Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dan SNI 03-7015-2004, radius proteksi petir terminasi udara tipe elektrostatik, konduktor penyalur, elektroda pentanahan, dan sistem pentanahan.

Tabel 13. Taksiran Resiko berdasarkan PUIPP di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor.

No	Area	Bangunan	Indeks					Perkiraan Bahaya	Proteksi	
			A	B	C	D	E			R
1.	A	Pos Security	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
2.		Office Plant	3	1	0	0	8	12	Sedang	Dianjurkan
3.		Main Workshoop	3	1	2	0	8	14	Besar	Sangat Perlu
4.		Workshoop SSE	3	1	0	0	8	12	Sedang	Dianjurkan
5.		Power House	2	2	0	0	8	12	Sedang	Dianjurkan
6.		Parkir Alat Berat 1	2	0	0	0	8	10	Diabaikan	Tidak Perlu
7.		Masjid	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
8.		Ruang Resepsionis	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
9.		Stok Yard 1	3	0	0	0	8	11	Kecil	Tidak Perlu
10.	B	Office Warehouse	3	1	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
11.		Kantin Warehouse	3	2	0	0	8	14	Besar	Sangat Perlu
12.		Stok Yard 2	2	0	0	0	8	10	Diabaikan	Tidak Perlu
13.		Gudang File	2	2	0	0	8	12	Sedang	Dianjurkan
14.		Gudang Ban	2	1	2	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
15.		Gudang oli dan fuel	2	1	0	0	8	11	Kecil	Tidak Perlu
16.		Gudang Warehouse	2	1	0	0	8	11	Kecil	Tidak Perlu
17.		Parkir Alat Berat 2	2	0	0	0	8	10	Diabaikan	Tidak Perlu
18.		Parkir Alat Berat 3	2	0	0	0	8	10	Diabaikan	Tidak Perlu
19.	C	Aula	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
20.		Ruang Server	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
21.		Water Tank	2	2	0	0	8	12	Sedang	Dianjurkan
22.		Mess A	3	2	2	0	8	15	Sangat Besar	Sangat Perlu
23.		Mess B	3	2	2	0	8	15	Sangat Besar	Sangat Perlu
24.		Mess C	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
25.		Mess D	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
26.		Kantin Lama	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
27.		Kantin Baru	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
28.		Ruang Simulator	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
29.		TC 1	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
30.		TC 2	3	2	0	0	8	13	Agak Besar	Dianjurkan
31.		Tower ERT	2	1	4	0	8	15	Sangat Besar	Dianjurkan

Pada tabel 13. taksiran resiko berdasarkan PUIPP dihasilkan prakiraan untuk sistem proteksi petir pada masing - masing bangunan dengan hasil dianjurkan dan sangat perlu dengan total 24 bangunan yang masing - masing ada di area A, B dan C.

Tabel 14. Taksiran Resiko berdasarkan SNI (03-7015-2004) di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi - Bogor

No	Area	Bangunan	a	b	h	Ae = (ab + 6h(a+b) + 9h²) m²	Ng = (0,04 x T ^{0,25}) km ² /th	Nd = (Ng x Ae x 10 ⁻⁶) per th	Nc	Proteksi	E	Level
1.	A	Pos Security	4	6	4	716.57	30.27	0.02	0.1	x	-3.61	-
2.		Office Plant	18	23	6	2.910.45	30.27	0.09	0.1	x	-0.13	-
3.		Main Workshop	15	31.2	12	7.867.54	30.27	0.24	0.1	v	0.58	IV
4.		Workshop SSE	7.5	31.6	6	2.662.89	30.27	0.08	0.1	x	-0.24	-
5.		Power House	6.52	17	6	1.975.85	30.27	0.06	0.1	x	-0.67	-
6.		Parkir Alat Berat 1	57	130	0	7.410.00	30.27	0.22	0.1	v	0.55	IV
7.		Masjid	24	19.5	6	3.052.29	30.27	0.09	0.1	x	-0.08	-
8.		Ruang Resepsionis	3	7	4	713.57	30.27	0.02	0.1	x	-3.63	-
9.		Stok Yard 1	47.6	49.5	0	2.353.82	30.27	0.07	0.1	x	-0.40	-
10.	B	Office Warehouse	25.6	42	6	4.527.09	30.27	0.14	0.1	v	0.27	IV
11.		Kantin Warehouse	6	12.8	6	1.769.79	30.27	0.05	0.1	x	-0.87	-
12.		Stok Yard 2	15.1	19	0	285.95	30.27	0.01	0.1	x	-10.55	-
13.		Gudang File	17.3	25	6	2.972.37	30.27	0.09	0.1	x	-0.11	-
14.		Gudang Ban	30	53.8	12	11.720.74	30.27	0.35	0.1	v	0.72	IV
15.		Gudang oli dan fuel	10	24	10	5.108.57	30.27	0.15	0.1	v	0.35	IV
16.		Gudang Warehouse	12	58	10	7.724.57	30.27	0.23	0.1	v	0.57	IV
17.		Parkir Alat Berat 2	100	125	0	12.500.00	30.27	0.38	0.1	v	0.74	IV
18.		Parkir Alat Berat 3	72	95	0	6.840.00	30.27	0.21	0.1	v	0.52	IV
19.	C	Aula	25	45	8	6.295.29	30.27	0.19	0.1	v	0.48	IV
20.		Ruang Server	7.1	30	6	2.566.89	30.27	0.08	0.1	x	-0.29	-
21.		Water Tank	8	10	5	1.327.14	30.27	0.04	0.1	x	-1.49	-
22.		Mess A	10	49.2	15	12.180.29	30.27	0.37	0.1	v	0.73	IV
23.		Mess B	10	42.5	15	11.512.29	30.27	0.35	0.1	v	0.71	IV
24.		Mess C	14	56	5	3.246.79	30.27	0.10	0.1	x	-0.02	-
25.		Mess D	23	50	5	3.693.79	30.27	0.11	0.1	v	0.11	IV
26.		Kantin Lama	12	23	6	2.554.29	30.27	0.08	0.1	x	-0.29	-
27.		Kantin Baru	10	25	7	3.106.00	30.27	0.09	0.1	x	-0.06	-
28.		Ruang Simulator	12	12.5	6	2.050.29	30.27	0.06	0.1	x	-0.61	-
29.		TC 1	11.1	60	6	4.243.89	30.27	0.13	0.1	v	0.22	IV
30.		TC 2	14	35	6	3.272.29	30.27	0.10	0.1	x	-0.01	-
31.		Tower ERT	7.5	8	30	28.307.14	30.27	0.86	0.1	v	0.88	III

Pada tabel 14. merupakan taksiran resiko berdasarkan SNI (03-7015-2004) untuk bangunan di masing-masing area. Perbandingan berdasarkan PUIPP dan SNI (03-7015-2004) dari total seluruh bangunan terdapat 24 bangunan dianjurkan dan sangat perlu dipasang sistem proteksi petir berdasarkan PUIPP, sedangkan berdasarkan SNI (03-7015-2004) terdapat 14 bangunan yang perlu dipasang sistem proteksi petir.

1. Menghitung area cakupan ekivalen menggunakan seluruh luas area (m²) di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor yang dianggap sebagai struktur yang mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan. Cakupan tersebut dapat di hitung dengan rumus yaitu :

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

a = panjang area (m)

b = lebar area (m)

h = tinggi bangunan (m)

Diketahui :

Luas lahan : 87.786,57 m² (944.926,75 kaki²)

Keliling lahan : 1260 m
 Tinggi : 15 m
 $A_e = 87.786,57 + (6 \times 15 \times 630) + (9 \times 3,14 \times 15^2)$

$A_e = 150.845,07 \text{ m}^2$

2. Menghitung kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan (N_g) dengan T_d (jumlah hari guruh per tahun yang diperoleh dari data sokeraunic level di daerah tempat struktur yang di proteksi) untuk Bogor - Jawa barat dengan nilai 201. Kerapatan sambaran petir rata - rata tahunan dapat dihitung dengan rumus :

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

$N_g = 0,04 \times 201^{1,25}$

$N_g = 30,27 / \text{km}^2 / \text{tahun}$

3. Menghitung frekuensi rata-rata tahunan sambaran petir langsung (N_d) menggunakan rumus yaitu :

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

$N_d = 30,27 \times 150.845,07 \times 10^{-6}$

$N_d = 4,56 \text{ per tahun}$

4. Menentukan efisiensi SPP dapat dicari menggunakan rumus, dengan nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan adalah $10^{-1} / \text{tahun}$, untuk rumus perhitungannya yaitu :

$E = 1 - N_c / N_d$

$E = 1 - 0,1 / 4,56$

$E = 0,978$

Hasil dari perhitungan nilai E adalah 0,978. Maka berdasarkan Efisiensi Sistem Proteksi Petir dapat diketahui bahwa seluruh area di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor memiliki tingkat proteksi I dengan nilai efisiensi 95% - 98%.

Radius Proteksi Petir Terminasi Udara Tipe Elektrostatik

Tabel 4.8 Radius Proteksi *E.F Lightning Protection System*[4].

Tinggi Bangunan (m)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Radius Proteksi (m)	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180

Maka luas daerah proteksinya pada masing-masing proteksi petir elektrostatik dengan

tinggi 30 meter dan radius 120 meter adalah :

$$A_x = \pi \times r_s^2$$

$$A_x = \pi \times 120^2$$

$$A_x = 45.216 \text{ m}^2$$

Dengan sudut proteksi sebesar :

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1}\left(1 - \frac{h}{r}\right)$$

$$\alpha^\circ = \text{Sin}^{-1}\left(1 - \frac{30}{120}\right)$$

$$\alpha^\circ = 48,59^\circ$$



Gambar 10. Area Proteksi Terminasi Udara Elektrostatik.

Konduktor penyalur (*down conductor*) yang terpasang pada sistem proteksi petir menggunakan Kabel N2XSY 70mm² pada sistem proteksi petir area A, pada proteksi petir area B dan C menggunakan Kabel NYY 70mm² Diameter minimum konduktor penyalur yang disyaratkan menurut tabel 9 untuk proteksi I sampai IV ukuran konduktor ke bawah yang terpasang telah memenuhi ketentuan.

Sistem pentanahan terukur memiliki tahanan rata - rata saat pengukuran sebesar 2,04 ohm untuk proteksi petir di area A, nilai tahanan

1,62 ohm untuk proteksi petir di area B, dan nilai tahanan 2,22 ohm untuk proteksi petir di area C. Ketentuan umum PUIL 2000 untuk sistem proteksi petir tahanan pentanahan $\leq 5 \Omega$. Tahanan pentanahan yang dihitung berdasarkan rumus untuk area A, B, dan C adalah :

- Hambatan jenis tanah (ρ): 50 Ω m
 - Diameter penghantar (d) : 5/8 inch (0,0158m)
 - Panjang elektroda (l) : 2 m
 - Panjang support (l) : 1 m
 - Jarak antara 2 konduktor (s) : 2 m
- maka besarnya hambatan pentanahan berdasarkan rumus adalah :

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

$$R = \frac{50}{4 \times 3,14 \times 3} \left\{ \ln \frac{4 \times 3}{0,0158} - 1 + \ln (2 \times 3 + \sqrt{2^2 + 4 \times 3^2}) + \frac{2}{2 \times 3} - \frac{\sqrt{2^2 + 4 \times 3^2}}{2 \times 3} \right\}$$

$$R = 4,53 \Omega$$

Pentanahan dipasang dengan menggunakan 2 batang konduktor (*multiple rod*) yang ditanam tegak lurus ke dalam tanah dengan metode pentanahan bersama yaitu :
(Jika diasumsikan tahanan pentanahan pada daerah bangunan adalah sama)

$$R_{tot} = \frac{1}{n \times \frac{1}{R_1}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{2 \times \frac{1}{4,53}}$$

$$R_{tot} = 2,265 \Omega$$

jika dibandingkan dengan pengukuran nilai tahanan rata-rata pada masing-masing area pengukuran pentanahan hasilnya tidak jauh berbeda dengan perhitungan.

Tabel 4.9 Selisih Perhitungan Tahanan dan Rata-Rata Pengukuran Tahanan Pentanahan

No.	Perhitungan	Rata-rata pengukuran	Selisih
1.	2,265 Ω	2,04 Ω	0,225 Ω
2.	2,265 Ω	1,62 Ω	0,645 Ω
3.	2,265 Ω	2,22 Ω	0,045 Ω

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Sistem porteksi petir eksternal merupakan suatu usaha untuk melindungi suatu objek bangunan, peralatan dan perlindungan terhadap manusia dari bahaya yang diakibatkan oleh sambaran petir secara langsung.
2. Berdasarkan PUIPP dan SNI 03-7015-2004 dari pengolahan data penentuan tingkat proteksi, seluruh area di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor sangat memerlukan proteksi akan gangguan petir, dengan diperolehnya hasil E = 0,978 tingkat proteksi I pada penghitungan berdasarkan SNI 03-7015-2004 dan dengan hasil taksiran resiko dari penjumlahan indeks-indeks jenis bahaya pada bangunan yang hasilnya perkiraan bahaya akibat sambaran petir (R) mencapai angka 15 menurut PUIPP.
3. Melalui metode radius proteksi yang terdapat pada katalog penyalur petir *E.F Lightning Protection System* untuk proteksi petir eksternal tipe elektrostatis yang terpasang di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor sebanyak tiga unit pada tiang *triangle* dengan ketinggian masing-masing 30 meter, luas daerah proteksi per unit yaitu 45.216 m² dan dilihat dari penempatan sitem proteksi petir telah melindungi seluruh bangunan yang ada.
4. Kabel konduktor penyalur terdapat dua jenis, yang pertama kabel grounding berisolator (N2XSY 70 mm²) pada sistem proteksi petir A dengan kemampuan maksimum dari konduktor sebesar 270 A di suhu sekitar 30° C, sedangkan yang kedua kabel berisolator (NYY 70 mm²) dengan kemampuan maksimum dari konduktor untuk menghantarkan arus sebesar 213 A di suhu sekitar 30° C. Sudah sesuai dengan dimensi minimum bahan konduktor penyalur menurut standar SNI 03-7015-2004.

5. Nilai rata-rata pengukuran resistansi elektroda pentanahan sistem proteksi petir di PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor pada area A terukur 2,04 Ω , area B terukur 1,62 Ω , dan area C terukur 2,22 Ω nilai tersebut telah memenuhi ketentuan PUIL 2000 yaitu $\leq 5 \Omega$. Nilai dari pengukuran tersebut dihasilkan dari dua batang konduktor (*multiple rod*) yang terpasang.
6. Berdasarkan perhitungan nilai resistansi pentanahan pada sistem proteksi petir yang telah terpasang terhitung sebesar 2,265 Ω selisih antara hasil perhitungan dengan pengukuran dapat dipengaruhi oleh tahanan jenis tanah yang ada di masing- masing titik pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Syakur, Yuningtyastuti. (2006). Sistem Proteksi Petir Pada Gedung Widya Puraya : Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [2]. Arikunto, Suharsimi. 2010. Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik. Jakarta: Rineka Cipta.
- [3]. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. “Peta Sambaran Petir Bulan September 2020” (online) (<https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/peta-sambaran-petir.bmkg?p=peta-sambaran-petir-tahun-2020&lang=ID>) diakses pada tanggal 13 November 2020 pukul 20:29WIB
- [4]. Dadan Hermawan, Asep. (2010). Optimalisasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Menggunakan Jenis Early Streamer (Studi Kasus UPT LAGG BPPT). Depok : Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [5]. Data Teknik dan Bangunan PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor (Gambar Denah).
- [6]. Data Teknik dan Bangunan PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi – Bogor (Gambar proteksi petir)
- [7]. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan Peraturan Umum Instalasi Penyalur Petir (PUIPP) untuk bangunan di Indonesia. (1983). Hal.17. Cetakan Pertama.
- [8]. Dwi Wintoko Sekti, Dwi. (2015). Analisis Pengaman Eksternal Gangguan Petir di Stasiun Pemancar TVRI Semarang (Gombel). Semarang : Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [9]. Google Earth “PT. Pamapersada Nusantara Distrik CCOS Cileungsi Bogor” (online) (<https://www.google.com/maps/place/PT+Pamapersada+Nusantara++R+esepionis/@6.4190477,106.9656775,393m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x2fd4f73e8c835188!8m2!3d-6.4191691!4d106.9656885>) diakses pada tanggal 12 November 2020 pukul 20:00WIB
- [10]. Hafizh Al Farisi, Abdul. (2017). Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Pada Gedung Perkuliahan (Studi Pada Universitas Negeri Jakarta Kampus A Sektor B. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- [11]. Panitia Revisi PUIL 2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000) SNI 04-0225-2000, Yayasan PUIL, Jakarta.
- [12]. SNI 03-7015-2004. (2004). Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan: Badan Standar Nasional.