

ANALISA PERENCANAAN DAN INSTALASI SISTEM PENYALUR PETIR EKSTERNAL TIPE EARLY STREAMER EMISSION DI BATAMINDO POWER HOUSE

Sumarsono, Arif Febriansyah Juwito*, Hasnira, Irwanto Zarma Putra, Yusiran, Robi Kurniawan, Jihan Zeinyuta Rosafira, Muhammad Veven, Muhammad Syaferi Ghazali

Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam

*Corresponding Author: arifjuwito@polibatam.ac.id,

Abstract

Indonesia geographically is located in the equatorial region with a tropical climate and surrounded by oceans, causing high levels of thunderstorm days that occur in this region. Similarly, Batam Island, which is located in Riau Islands Province, has the characteristics of high thunder days, which can be seen from the isokraunic level of strikes that occur in this area which can reach more than 60000 strikes per year. This condition causes the need for planning and installation of an external lightning distribution system carried out in the Batamindo Industrial Park Power House area, so that the reliability of electrical energy supply to customers in the industrial area remains reliable and safe, despite the high level of lightning strikes in this area. The planning and installation of the lightning conductor system is carried out by referring to the General Regulations for Electrical Installations (PUIL) and national standards through the General Requirements for Lightning Protection Installations. From the results of the planning and installation of the lightning distribution system carried out by PT Lancang Kuning Sukses (PT LKS) as the contractor implementing this project, data collection was carried out in the form of a data sheet of the head unit lightning distributor, the dimensions of the height and area of the protection area and taking measurements of grounding resistance. From the measurements made on the grounding of the lightning distribution system, a value of 0.56 Ohm was obtained, where the value of this grounding was in accordance with PUIL standards of <5 Ohm.

Keywords : Head Unit, Early Streamer Emission, Grounding Resistance.

Abstrak

Indonesia secara geografis terletak di daerah khatulistiwa dengan iklim tropis dan dikelilingi oleh lautan, menyebabkan tingginya tingkat hari guruh yang terjadi di wilayah ini. Begitu pula dengan pulau Batam yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau memiliki karakteristik hari guruh yang tinggi, dimana hal ini dapat dilihat dari tingkat isokraunik level sambaran yang terjadi di area ini yang dapat mencapai lebih dari 215 sambaran per tahun. Kondisi ini menyebabkan perlunya perencanaan dan instalasi sistem penyalur petir eksternal yang dilakukan di area *Power House* Batamindo Industrial Park, agar kehandalan suplai energi listrik untuk pelanggan di wilayah industri tetap handal dan aman, walaupun tingkat sambaran petir di wilayah ini tinggi. Perencanaan dan instalasi sistem penyalur petir dilakukan dengan mengacu standar Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan standar nasional melalui Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir. Dari hasil perencanaan dan instalasi sistem penyalur petir yang dilakukan oleh PT Lancang Kuning Sukses (PT LKS) selaku kontraktor pelaksana project ini, dilakukan pengumpulan data berupa data sheet *head unit* penyalur petir dimensi ketinggian dan luasan area proteksi serta melakukan pengukuran tahanan pentanahan. Dari pengukuran yang dilakukan terhadap pentanahan sistem penyalur petir diperoleh nilai sebesar 0,56 Ohm, dimana besar nilai pentanahan ini telah sesuai dengan standar PUIL sebesar < 5 Ohm.

Kata Kunci : Head Unit, Early Streamer Emission, Tahanan Pentanahan.

1. PENDAHULUAN

Pulau Batam merupakan salah satu Kota Administratif yang terletak di Provinsi Kepulauan Riau, secara geografis terletak di sebelah utara garis khatulistiwa yang berbatasan langsung dengan Singapura dan Malaysia. Kondisi wilayah Kota Batam yang sebagian besar merupakan lautan yang terdiri dari pulau-pulau kecil yang tersebar secara merata, menyebabkan tinggi suhu udara

maksimum harian yang terjadi di wilayah ini berkisar antara $31,6^{\circ}\text{C}$ – $34,8^{\circ}\text{C}$ [1]. Tingginya suhu udara yang terjadi di wilayah Batam, berdampak pada tingginya penguapan air laut yang menyebabkan terbentuknya awan hujan. Sehingga kondisi awan hujan ini juga berdampak terhadap tingginya hari guruh yang terjadi di area Batam. Berdasarkan data dari BMKG jumlah hari guruh yang terjadi di wilayah Batam mencapai 215 hari guruh di tahun 2024[2]. Tingginya hari guruh ini tentu saja akan memberikan dampak terhadap keselamatan individu maupun lingkungan kerja yang dalam hal ini salah satunya adalah Batamindo *Power House*. Batamindo *Power House* merupakan salah satu bagian dari wilayah usaha yang dimiliki oleh PT Batamindo Cakrawala yang berfungsi memproduksi energi listrik (Pembangkit Tenaga Listrik Mesin Gas) untuk mensuplai kebutuhan energi listrik para Tenant/ pelanggan yang ada di wilayah usaha PT Batamindo Cakrawala.

Sebagai salah satu upaya preventif dalam meminimalkan potensi kerusakan yang ditimbulkan oleh sambaran petir [3] di *Power House* Batamindo, dan menjaga kontinuitas serta kehandalan pasokan energi listrik, perencanaan dan pemasangan sistem penyalur petir external perlu dilakukan dengan mempertimbangkan ketinggian bangunan gedung dan area yang akan diproteksi oleh sistem penyalur petir. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa perencanaan dan instalasi yang dilakukan oleh PT Lancang Kuning Sukses (PT LKS) selaku *Main Contractor* (Kontraktor Utama) PT Batamindo Cakrawala.

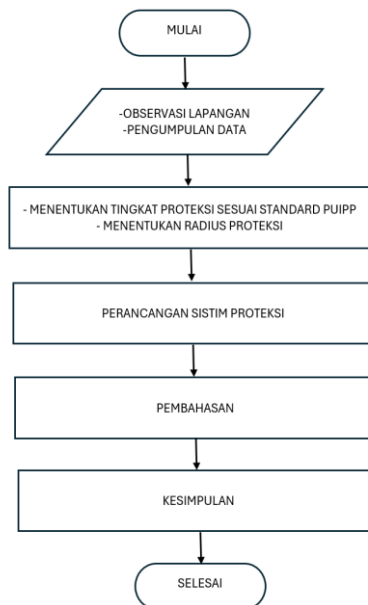
2. METODOLOGI

a. Objek Penelitian

Penelitian dilakukan selama pelaksanaan pekerjaan instalasi sistem penyalur petir yang dilakukan oleh PT Lancang Kuning Sukses yang dilaksanakan dari tanggal 15 Juli 2024 hingga 20 Agustus 2024 di bangunan *Power House* milik PT Batamindo Cakrawala.

b. Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan sesuai diagram alir pada gambar berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

c. Metode Asesment Sistem Penyalur Petir Eksternal

Sistem penyalur petir eksternal terdiri dari komponen head unit (penerima sambaran petir), penghantar dan sistem pentanahan yang berfungsi untuk menetralkan arus dan tegangan yang diakibatkan oleh sambaran petir [4]. Untuk melakukan asesmen terhadap potensi dan dampak yang mungkin terjadi akibat sambaran petir, diperlukan asesmen terhadap karakteristik bangunan gedung menggunakan persamaan berikut:

$$R = A + B + C + D + E \quad (1)$$

Dimana :

- R : Nilai indeks bahaya sambaran petir
 A : Jenis struktur bangunan
 B : Konstruksi bangunan
 C : Tinggi bangunan
 D : Situasi bangunan
 E : Hari guruh pertahun

Densitas sambaran petir ketanah yang terjadi dalam satu tahun, dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$N_g = 0,04 \cdot T_d^{1,25} \quad (2)$$

Dimana :

- N_g : Densitas sambaran petir ke tanah per km^2 per tahun
 T_d : Jumlah hari guruh pertahun (data BMKG lokal)

Frekuensi sambaran petir langsung dalam suatu area menyatakan kecendrungan interval sambaran petir yang terjadi dalam suatu area dalam jangka per tahun, dimana kecendrungan ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot 10^{-6} \quad (3)$$

Dimana :

- N_g : Densitas sambaran petir ke tanah (per km^2 per tahun)
 N_d : Frekuensi sambaran petir langsung per tahun
 A_e : Luas area terlindungi sistem penyalur petir

Nilai frekuensi sambaran yang diperbolehkan (N_c) adalah sebesar 10^{-1} dengan ketentuan $N_d \geq N_c$. Dimana nilai tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$E = 1 - (N_c / N_d) \quad (4)$$

Dimana :

- E : Efisiensi sistem proteksi eksternal
 N_c : Frekuensi sambaran diperbolehkan pada gedung
 N_d : Frekuensi sambaran petir langsung (/Tahun)

Area yg diproteksi oleh sistem penyalur petir dapat ditentukan berdasarkan dimensi gedung yang akan dilakukan instalasi sistem penyalur petir, dimana hal tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2 \quad (5)$$

Dimana :

- a : Panjang gedung (m)
 b : Lebar gedung (m)
 h : Tinggi gedung (m)
 A_e : Luas daerah proteksi (m^2)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Bangunan

Bangunan gedung Power House terletak di dalam kawasan Industri Batamindo, dimana bangunan ini diperuntukkan sebagai bangunan tempat beroperasinya Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) yang berfungsi untuk mensuplay kebutuhan energi listrik untuk tenant-tenant Industri yang berada di Kawasan Industri Batamindo.



Gambar 1. Kawasan Industri Batamindo

Dimensi bangunan yang diperuntukkan sebagai Power House Batamindo, memiliki panjang area sebesar 50,4 m, lebar 28,4 m, titik tertinggi bangunan *Power House* mencapai 8 m, dimana titik ini merupakan titik yang digunakan untuk penempatan supporting unit berupa tiang monopole, tempat terpasangnya *head unit* tipe ESE.

3.2 Data Hari Guruh Pertahun

Hari guruh disebut juga sebagai hari badai guntur (*thunderstrom days*) merupakan banyaknya hari dimana terdengar gemuruh paling sedikit sebanyak satu kali dalam jarak 15 km dari stasiun pengamatan. Istilah ini sering digunakan oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) untuk mencatat aktivitas petir atau badai dalam suatu wilayah. Untuk penelitian ini penulis menggunakan data dari Stasiun Meteorologi Kelas I Hang Nadim Kota Batam. Berikut pada Tabel 1 menunjukkan data hari guruh kota batam tahun 2024 :

Tabel 1. Data Hari Guruh Kota Batam Tahun 2024

No	Bulan (Tahun 2024)	Jumlah Guruh
1	Januari	18
2	Februari	5
3	Maret	14

4	April	23
5	Mei	27
6	Juni	24
7	Juli	13
8	Agustus	16
9	September	19
10	Oktober	22
11	November	23
12	Desember	11
Jumlah hari guruh dalam 1 tahun		215

(Sumber: BMKG Batam 2024)

3.3 Penentuan Tingkat Proteksi Petir

Perhitungan mengenai tingkat proteksi petir bertujuan untuk mengetahui besarnya kategori indeks resiko sambaran petir yang mungkin terjadi di area Batamindo Power House. Dimana data indeks proteksi petir, dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Indeks Proteksi Petir Berdasarkan PUIPP

Kategori Indeks	Keterangan	Nilai Indeks
A	Penggunaan bangunan	5
B	Konstruksi bangunan	1
C	Tinggi bangunan	0
D	Situasi bangunan/lokasi	0
E	Hari guruh per tahun	8

(Sumber: Hasil Analisis Lapangan, 2024)

Berdasarkan persamaan (1) dan data pada Tabel 2, diperoleh nilai indeks bahaya sambaran petir sebagai berikut:

$$R = 5 + 1 + 0 + 0 + 8 = 14 \quad (1a)$$

Nilai indeks R sebesar 14 pada area Power House Batamindo menunjukkan bahwa bangunan ini memiliki tingkat bahaya sambaran petir yang signifikan, sehingga pemasangan sistem proteksi petir eksternal sangat dianjurkan. Hasil ini sejalan dengan temuan pada bangunan industri sejenis di Kawasan Batam, yaitu evaluasi pada Gedung PT Infineon Batam-3 yang turut memperoleh nilai indeks R sebesar 14 berdasarkan standar PUIPP [8], sehingga memperkuat relevansi penerapan metode indeks risiko pada bangunan industri di wilayah Batam yang memiliki karakteristik hari guruh tinggi.

3.4 Penentuan Tingkat Proteksi Petir Berdasarkan SNI 03-7015-2004

Selain mengacu pada PUIPP, tingkat proteksi petir eksternal Power House Batamindo turut dianalisis menggunakan pendekatan SNI 03-7015-2004 [5], dengan memperhitungkan densitas sambaran petir ke tanah, luas area proteksi efektif, frekuensi sambaran petir tahunan, serta efisiensi sistem proteksi yang dibutuhkan.

Densitas Sambaran Petir ke Tanah (Ng)

Berdasarkan persamaan (2) dan jumlah hari guruh tahunan (Td) sebesar 215 hari sebagaimana pada Tabel 1, diperoleh:

$$Ng = 0,04 \times 215^{1,25} = 32,9312 \text{ sambaran/km}^2/\text{tahun} \quad (2a)$$

Luas Area Proteksi Efektif (A_e)

Mengacu pada dimensi bangunan Power House (panjang $a = 50,4$ m, lebar $b = 28,4$ m, tinggi $h = 8$ m) dan persamaan (5), diperoleh luas area proteksi efektif:

$$A_e = (50,4 \times 28,4) + (6 \times 8)(50,4 + 28,4) + 9 \times 3,14 \times 8^2 = 337,68 + 3782,4 + 1808,64 = 5.928,72 \text{ m}^2 \quad (5a)$$

Frekuensi Sambaran Petir Tahunan (N_d)

Berdasarkan persamaan (3):

$$N_d = 32,9312 \times 5.928,72 \times 10^{-6} = 1,008 \text{ sambaran petir/tahun} \quad (3a)$$

Efisiensi Sistem Proteksi Petir (E)

Nilai frekuensi sambaran petir tahunan yang diperbolehkan (N_c) ditetapkan sebesar 10^{-1} . Karena $N_d \geq N_c$, maka sistem proteksi petir diperlukan dengan efisiensi yang dihitung berdasarkan persamaan (4):

$$E = 1 - (10 - 1/1,008) = 1 - 0,099 = 0,91 \text{ atau } 91\% \quad (4a)$$

Nilai efisiensi sebesar 91% berada pada rentang 90%–95%, sehingga menurut SNI 03-7015-2004 tingkat proteksi yang sesuai untuk Power House Batamindo adalah Tingkat III. Temuan ini konsisten dengan hasil evaluasi pada Gedung PT Infineon Batam-3 yang juga memperoleh tingkat proteksi III berdasarkan standar yang sama [8], menunjukkan bahwa karakteristik hari guruh tinggi di wilayah Batam secara konsisten mengarah pada kebutuhan tingkat proteksi menengah-tinggi pada bangunan industri di kawasan tersebut.

3.5 Analisa Radius Proteksi Terminasi Udara Sistem Early Streamer Emission (ESE)

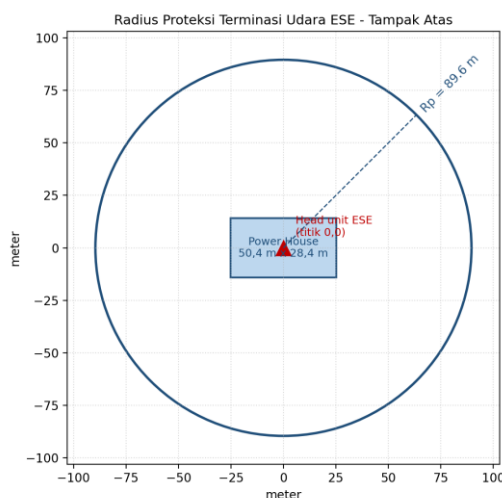
Setelah tingkat proteksi ditentukan, analisis selanjutnya dilakukan terhadap radius proteksi terminasi udara tipe Early Streamer Emission (ESE) yang terpasang, dengan mengacu pada spesifikasi teknis air terminal ESE Viking V6 dan standar NF C 17-102 [7], yang juga menjadi acuan dalam penentuan unjuk kerja waktu lanjutan (advance time) terminasi udara aktif sejenis [4]. Terminasi udara dipasang pada ketinggian $h = 12$ meter dengan nilai efisiensi waktu (ΔT) sebesar $70 \mu\text{s}$, sebagaimana dinyatakan dalam data sheet produk dan telah sesuai dengan standar NF C 17-102.

$$\Delta T = 70 \mu\text{s} = 7 \times 10^{-5} \text{ s}; \Delta L = \Delta T \times 10^6 = 7 \times 10^{-5} \times 10^6 = 70 \text{ m} \quad (6)$$

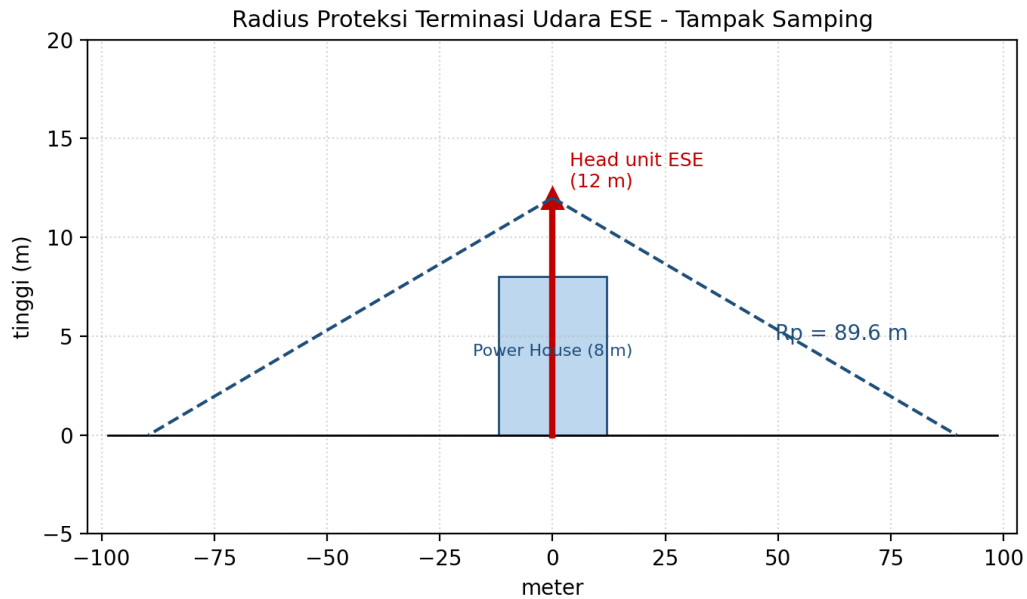
Berdasarkan metode bola bergulir (rolling sphere method) sesuai NF C 17-102, radius proteksi (R_p) dihitung menggunakan radius bola bergulir (D) sebesar 20 m yang sesuai dengan Tingkat Proteksi III:

$$R_p = \sqrt{[h(2D - h) + \Delta L(2D + \Delta L)]} = \sqrt{[12(40 - 12) + 70(40 + 70)]} = \sqrt{8036} = 89,6 \text{ m} \quad (7)$$

Dengan demikian, terminasi udara ESE pada Power House Batamindo mampu memberikan radius proteksi sejauh 89,6 meter dari titik pemasangan, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 4 (tampak atas) dan Gambar 5 (tampak samping).



Gambar 4. Radius Proteksi Terminasi Udara ESE – Tampak Atas



Gambar 5. Radius Proteksi Terminasi Udara ESE – Tampak Samping

Luas area yang terlindungi oleh sistem proteksi petir dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Ax = \pi \times Rp^2 = 3,14 \times 89,62 = 25.208,42 \text{ m}^2 \quad (8)$$

Luas area proteksi sebesar 25.208,42 m² ini melebihi luas area bangunan Power House (1.431,36 m²) maupun luas area proteksi efektif minimum menurut SNI (5.928,72 m²), sehingga seluruh bangunan beserta area pendukung di sekitarnya berada dalam zona aman dari sambaran petir langsung. Posisi terminasi udara pada ketinggian 12 meter, yang lebih tinggi dibandingkan titik tertinggi bangunan (8 meter), turut memastikan tidak ada bagian struktur yang berada di luar zona proteksi.

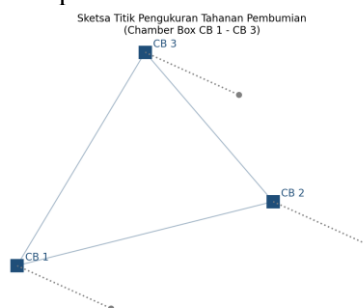
3.6 Analisa Sistem Pentanahan Berdasarkan PUIL 2020

Pengukuran resistansi pentanahan dilakukan menggunakan earth resistance tester Kyoritsu KEW 4105 dengan metode tiga titik (fall of potential method) pada tiga lokasi chamber box, mengacu pada persyaratan PUIL 2020 [6] yang mensyaratkan nilai tahanan pentanahan untuk proteksi petir tidak melebihi 5 Ω. Pendekatan elektroda majemuk (multi rod) yang digunakan pada penelitian ini sejalan dengan praktik umum penurunan nilai resistansi pentanahan pada instalasi tenaga listrik, sebagaimana ditunjukkan pada studi pemasangan multirod grounding pada jaringan transmisi yang melaporkan penurunan nilai resistansi secara signifikan melalui penambahan jumlah elektroda yang dihubungkan secara paralel [9].

Jarak antar elektroda ditentukan berdasarkan tahanan jenis tanah (ρ) dan target tahanan pentanahan (R) menggunakan persamaan berikut:

$$d \geq \sqrt{\rho/R} = 3,46 \text{ m} \quad (9)$$

Jarak antar elektroda ditentukan sejauh 3,46 meter dan tidak boleh kurang dari nilai tersebut. Elektroda uji 1 ditancapkan pada jarak 5–10 m dan elektroda uji 2 pada jarak 15–20 m dari elektroda utama pentanahan, dengan kabel pengukuran terhubung pada tiga titik chamber box (CB 1, CB 2, dan CB 3) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Sketsa Titik Pengukuran Tahanan Pembumian

Tabel 3. Spesifikasi Elektroda Pentanahan

Spesifikasi	Hasil Pengujian
Tahanan jenis tanah	30 Ω
Bahan elektroda	Tembaga
Panjang elektroda	1,5 m x 12 = 18 m
Diameter elektroda	15,89 mm
Ukuran chamber box	17 x 17 x 17 cm

(Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2024)

Tabel 4. Hasil Pengukuran Resistansi Pentanahan

Chamber Box	Nilai Resistansi (Ω)	Keterangan
CB 1	1,57	Baik (<5 Ω)
CB 2	2,16	Baik (<5 Ω)
CB 3	1,44	Baik (<5 Ω)

(Sumber: Hasil Pengukuran Lapangan, 2024)

Nilai resistansi total sistem pentanahan multi rod dihitung menggunakan kaidah tahanan paralel:

$$R_t = 1/(1/1,57 + 1/1,44 + 1/2,16) = 0,56 \Omega \text{ (10)}$$

Nilai resistansi pentanahan sebesar 0,56 Ω yang diperoleh dari konfigurasi multi rod ini jauh di bawah ambang batas 5 Ω yang dipersyaratkan PUIL 2020 [6], menunjukkan bahwa sistem pentanahan telah memenuhi standar dan mampu menyalurkan arus impuls petir ke tanah secara efektif. Hasil ini sejalan dengan prinsip penurunan resistansi melalui penambahan jumlah elektroda paralel sebagaimana dilaporkan pada studi multirod grounding [9], dan menguatkan keandalan keseluruhan sistem proteksi petir eksternal yang terpasang di Power House Batamindo.

4. KESIMPULAN

- Berdasarkan metode Early Streamer Emission (ESE), nilai efisiensi waktu (ΔT) terminasi udara memengaruhi jarak tambahan ESE (ΔL) yang dihasilkan; semakin kecil nilai ΔT maka semakin pendek ΔL yang dihasilkan, sehingga radius proteksi (R_p) dan luas area proteksi (A_x) yang diperoleh juga semakin kecil dan membutuhkan lebih banyak titik terminasi udara ESE.
- Berdasarkan PUIPP diperoleh indeks bahaya sambaran petir $R = 14$, dan berdasarkan SNI 03-7015-2004 diperoleh efisiensi sistem proteksi sebesar 91% sehingga tingkat proteksi yang sesuai untuk Power House Batamindo adalah Tingkat III. Terminasi udara ESE yang terpasang pada ketinggian 12 meter mampu memberikan radius proteksi sejauh 89,6 meter, sehingga area seluas 25.208,42 m² di sekitar Power House Batamindo telah terlindungi dari bahaya sambaran petir langsung.
- Hasil pengukuran dan perhitungan sistem pentanahan dengan konfigurasi multi rod electrode memperoleh nilai resistansi pentanahan sebesar 0,56 Ω . Nilai ini telah memenuhi standar PUIL 2020 yang mensyaratkan resistansi pentanahan untuk proteksi petir tidak melebihi 5 Ω , sehingga sistem pentanahan yang terpasang dinyatakan layak dan andal dalam menyalurkan arus impuls petir ke tanah.
- Sebagai pengembangan lebih lanjut, disarankan dilakukan pemantauan berkala terhadap kontinuitas konduktor penyalur dan nilai resistansi pentanahan, mengingat kondisi tanah dan korosi material elektroda dapat memengaruhi keandalan sistem proteksi petir eksternal dalam jangka panjang.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pemerintah Kota Batam, “Kompilasi Data Statistik Sektor Pemerintah Kota Batam Tahun 2024,” Dinas Komunikasi dan Informatika Kota Batam, 2024. [Online]. Tersedia: <https://satudata.batam.go.id>

- [2] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), “Sambaran Petir Real-time – Geofisika Potensial,” BMKG, 2026. [Online]. Tersedia: <https://www.bmkg.go.id/geofisika-potensial/petir-realtime>
- [3] R. Rohani, “Evaluasi Sistem Penangkal Petir Eksternal Di Gedung Rektorat Universitas Negeri Yogyakarta,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 187–195, 2017, doi: 10.21831/jee.v1i2.17423.
- [4] M. M. Arief Wahyuadji, N. Purwasih, D. Permata, dan H. H. Sinaga, “Desain Sistem Proteksi Eksternal Gedung Terhadap Surja Petir di Museum Negeri Lampung,” *Transmisi: J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 2, pp. 95–104, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.2.95-104.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 03-7015-2004: Sistem Proteksi Petir pada Bangunan Gedung*. Jakarta: BSN, 2004.
- [6] Standar Nasional Indonesia, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2020 – Bagian 1: Pendahuluan, Prinsip Fundamental dan Definisi*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.
- [7] Union Technique de l’Électricité (UTE), *NF C 17-102: Protection des structures, des emplacements ouverts et des personnes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d’amorçage*. Paris: UTE, 2011.
- [8] I. Z. Putra, A. A. P. Anas, Hasnira, dan F. Nakul, “Evaluasi Sistem Proteksi Petir Eksternal Konvensional Pada Gedung PT Infineon Batam-3,” *J. Appl. Electr. Eng.*, vol. 8, no. 1, pp. 63–69, 2024, doi: 10.30871/jaee.v8i1.7550.
- [9] N. M. Mucharomah, A. Nugroho, dan Sumardi, “Analisis Pemasangan Multirod Grounding Pada Ruas SUTT 70 kV Sunyaragi-Kuningan,” *J. Profesi Insinyur Indones.*, vol. 2, no. 1, 2024.
- [10] International Electrotechnical Commission, *IEC 62305-1: Protection Against Lightning – Part 1: General Principles*. Geneva: IEC, 2024.