



Analisis Sistem Penangkal Petir pada *Light Rail Transit* (LRT) (Studi Kasus *Project LRT Jakarta Fase 1B*)

Feriyawan^{1*}, Seflahir Dinata², Jamal A Rachman Saprin³, Angga Septian MN⁴

¹⁻³Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang, Indonesia

Email: feriyawan6699@gmail.com^{1*}, dosen01138@unpam.ac.id², dosen01492@unpam.ac.id³,
dosen01727@unpam.ac.id⁴

Alamat: Jl. Raya Puspittek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310

*Korespondensi Penulis

Abstract. Indonesia is a country with high lightning strike intensity, making lightning protection systems critically important, especially for public infrastructure such as Light Rail Transit (LRT). This research aims to analyze the lightning protection system implemented in the Jakarta LRT Phase 1B Project, particularly in the station areas and railway lines. The methods used include field observation, literature study, interviews, and technical analysis using the rolling sphere method, protective angle method, and mesh method to determine the coverage of protected areas. In addition, an evaluation of the grounding system was conducted to ensure the safe discharge of lightning currents into the earth. The analysis results show that the lightning protection system applied complies with PUIPP and IEC 62305-1 standards and is capable of protecting signaling and telecommunication equipment from lightning risks. The combination of the three protection methods provides comprehensive coverage for LRT structures. The grounding system design also meets the standard resistance requirement (< 5 Ohms), ensuring operational safety and protecting critical equipment. Furthermore, the study highlights the importance of integrating lightning protection with other safety systems such as fire protection and electrical surge protection, as lightning can cause cascading failures that disrupt railway operations. Proper maintenance and periodic testing of grounding resistance are also necessary to ensure long-term reliability. In addition, the Faraday cage principle applied to train cars contributes to passenger safety by preventing lightning currents from penetrating the cabin interior. This research is expected to serve as a reference for developing lightning protection systems in similar infrastructure projects, especially in regions with high lightning density. By applying international standards and comprehensive protection methods, the Jakarta LRT demonstrates how modern urban transportation can operate safely despite extreme weather risks.

Keywords: Grounding, Jakarta LRT, Lightning, Lightning protection, Lightning protection system

Abstrak. Indonesia merupakan negara dengan intensitas sambaran petir yang tinggi sehingga sistem proteksi petir menjadi sangat penting, terutama pada infrastruktur publik seperti Light Rail Transit (LRT). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sistem penangkal petir yang diterapkan pada Proyek LRT Jakarta Fase 1B, khususnya pada area stasiun dan lintasan kereta. Metode yang digunakan meliputi observasi lapangan, studi literatur, wawancara, serta analisis teknis menggunakan metode bola bergulir (rolling sphere), sudut proteksi (protective angle), dan metode jala (mesh) untuk menentukan cakupan area yang terlindungi. Selain itu, dilakukan juga evaluasi terhadap sistem pentanahan guna memastikan arus petir dapat dialirkan ke bumi dengan aman. Hasil analisis menunjukkan bahwa sistem proteksi petir yang diterapkan telah sesuai dengan standar PUIPP dan IEC 62305-1, serta mampu melindungi peralatan sinyal dan telekomunikasi dari risiko sambaran petir. Kombinasi ketiga metode proteksi memberikan cakupan perlindungan yang komprehensif terhadap struktur bangunan LRT. Desain sistem pentanahan juga memenuhi persyaratan standar dengan nilai resistansi < 1 Ohm, sehingga menjamin keselamatan operasional dan perlindungan peralatan kritis. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya integrasi proteksi petir dengan sistem keselamatan lainnya, seperti proteksi kebakaran dan proteksi lonjakan arus listrik, karena sambaran petir dapat menimbulkan kegagalan berantai yang berpotensi mengganggu operasi kereta. Pemeliharaan berkala serta pengujian resistansi pentanahan secara periodik juga sangat diperlukan untuk memastikan keandalan jangka panjang. Penerapan prinsip Kandang Faraday pada kereta turut meningkatkan keselamatan penumpang dengan mencegah arus petir masuk ke dalam kabin. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi pengembangan sistem proteksi petir pada proyek infrastruktur serupa, khususnya di wilayah dengan kerapatan petir tinggi. Dengan penerapan standar internasional dan metode proteksi yang menyeluruh, LRT Jakarta menunjukkan bahwa transportasi perkotaan modern dapat beroperasi dengan aman meskipun menghadapi risiko cuaca ekstrem.

Katakunci: LRT Jakarta, pentanahan, Petir, proteksi petir, sistem proteksi petir

1. LATAR BELAKANG

Indonesia terletak di wilayah dengan aktivitas petir yang tinggi, terutama di daerah yang sering mengalami hujan lebat. Daerah di dekat khatulistiwa, seperti Indonesia, dapat mengalami cuaca yang seringkali tidak stabil dengan suhu dan kelembapan yang tinggi. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya awan konvektif, yang seringkali menyebabkan petir. Data menunjukkan bahwa Indonesia termasuk di antara negara-negara dengan frekuensi sambaran petir tertinggi di dunia, hampir setiap hari, terutama selama musim hujan. Oleh karena itu, sangat penting untuk melindungi struktur dan infrastruktur lainnya dari sambaran petir guna mencegah kerusakan dan korban jiwa (Noviana & Karim, 2022).

Petir adalah fenomena alam yang melibatkan pelepasan energi sesaat (penyimpanan energi) dalam bentuk rangkaian arus listrik raksasa yang dilepaskan oleh alam semesta menuju Bumi yang netral. Hampir seluruh wilayah Indonesia rawan petir. Bencana petir dapat terjadi dalam bentuk sambaran petir yang mengganggu transmisi daya tegangan tinggi dan dapat berakibat fatal bagi mereka yang tersambar langsung. Bahaya yang ditimbulkan oleh sambaran petir sangatlah besar (Mahira et al., 2024).

Sistem proteksi petir atau yang dikenal juga dengan istilah sistem proteksi petir adalah sistem yang digunakan untuk mencegah dampak buruk sambaran petir dengan cara mengalihkan arus listrik yang dihasilkan petir ke tanah secara aman serta melindungi bangunan umum, gedung bertingkat, menara, dan instalasi industri di Indonesia dari sambaran petir yang dapat mengakibatkan kerusakan fisik, kebakaran, bahkan kematian (Nasulition et al., 2024).

Pada lintasan LRT ini yang diatas dan panjang khususnya Proyek LRT Jakarta Tahap 1B memiliki 5 Stasiun yang dimulai dari St. Velodrome sampai dengan St. Manggarai lintasannya mencapai 6,4 km, Setelah dilakukan evaluasi terhadap jumlah perangkat persinyalan dan telekomunikasi pada lintasan tersebut serta kepadatan pengguna angkutan umum, hal ini memiliki risiko yang tinggi untuk tersambar petir, sehingga diperlukan sistem proteksi petir yang baik untuk melindungi perangkat tersebut (Mpu & Cipinang, 2024).

Maka pelaksanaan kegiatan penelitian yang saya lakukan akan menganalisis Jarak Daerah yang Dilindungi Penangkal Petir dengan menggunakan metode bola bergulir, metode sudut proteksi dan metode jaring untuk melindungi perangkat dan sebagai tindakan pengamanan dari sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung yang dapat terjadi sewaktu-waktu (Suwarna, 2022).

2. KAJIAN TEORITIS

A. Definisi Petir

Petir adalah fenomena alam yang sering diibaratkan seperti kapasitor raksasa. Petir juga dapat menyambar apa pun yang berada di atas permukaan atau terhubung ke Bumi. Petir pada musim hujan warnanya mirip dengan kilatan putih. Petir adalah cahaya putih terang, sedangkan guntur adalah suara yang menggelegar. Petir sering kali disertai guntur, suara keras yang dihasilkan oleh gelombang kejut udara yang dipicu oleh arus listrik ketika petir sangat panas (Cecilia, 2022).

Kecepatan suara adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kecepatan gelombang suara yang merambat melalui medium elastis. Kecepatan cahaya berasal dari kata Latin "celeritas" yang berarti "kecepatan". Kecepatan cahaya lebih cepat daripada kecepatan suara (Prayitno et al., 2024).

Petir adalah fenomena alam berupa emisi muatan positif dan negatif di awan, yang dihasilkan dari perbedaan potensial antara awan dan permukaan bumi saat mencapai kesetimbangan. Sambaran petir menghasilkan nitrogen oksida (NO_x), yang terbawa oleh hujan, yang bermanfaat bagi tanaman. Selain itu, sambaran petir menghasilkan ozon, yang melindungi bumi dari sinar ultraviolet (Karta, 2020).

Petir disebabkan oleh awan petir, yang juga dikenal sebagai awan kumulonimbus. Ketika awan petir terbentuk, terjadi kondensasi. Ketika awan tidak dapat lagi menyerap air yang dihasilkan oleh proses kondensasi, air tersebut membentuk tetesan hujan (Barasa et al., 2017).

Perbedaan potensial antara permukaan bumi dan ionosfer dalam kondisi cuaca normal adalah sekitar 200.000 hingga 500.000 volt, dengan kerapatan arus sekitar 2×10^2 Ampere/m² (Arief Wahyuadji et al., 2024).



Gambar 1. Petir

Jenis-jenis petir meliputi berikut ini:

1. Awan Petir ke Tanah (CG)
2. Petir Intra-Awan (IC)
3. Awan Petir ke Awan (CC)

4. Awan Petir ke Udara (CA)

B. Dampak Sambaran Petir

Komponen utama yang merusak dari petir adalah sambaran balik. Ini adalah bagian dari petir yang mengirimkan muatan petir ke tanah. Arus yang mengalir dalam sambaran ini berkisar antara 2.000 A hingga 200 kA. Bahaya sambaran petir adalah sebagai berikut (Siburian et al., 2019):

1. Kepada Manusia
2. Ke Gedung
3. Untuk Persinyalan dan Telekomunikasi Kereta Api
4. Kerusakan Akibat Serangan Langsung
5. Kerusakan Akibat Serangan Tidak Langsung

C. Frekuensi Sambaran Petir

Pemilihan tingkat perlindungan yang memadai untuk suatu sistem proteksi didasarkan pada perkiraan frekuensi sambaran petir langsung ke struktur yang dilindungi (N_d) dan frekuensi sambaran petir tahunan yang diizinkan setempat (N_c) (Atmam, 2015).

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

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh rata-rata jumlah hari badai petir per tahun di wilayah tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh hubungan berikut (Riyanto & Appulembang, 2024):

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T_d^{1.26} \dots \dots \dots (2.2)$$

Sementara itu, nilai A_e dapat dihitung sebagai berikut:

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

Jadi dengan ketiga persamaan di atas, nilai N_d dapat dicari dengan persamaan berikut (MULYANTO et al., 2014):

$$N_d = 4 \cdot 10^{-6} \cdot T_d^{1.26} (ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2) \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

A: Panjang atap bangunan (m)

B: Lebar atap bangunan (m)

H: Tinggi atap bangunan (m)

T_d : Hari guntur per tahun

N_g : Kepadatan sambaran petir tanah (sambaran/km²/tahun)

A_e : Area dengan tingkat sambaran petir N_d (km²)

N_d : Sambaran petir langsung per tahun

N_c : Frekuensi sambaran petir tahunan lokal yang diizinkan (10⁻¹)

D. Perhitungan Risiko

Menurut Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dan International Electrotechnical Commission (IEC) 1024-1-1, bangunan harus mampu melindungi seluruh bagian bangunan, termasuk keselamatan manusia dan peralatan di dalamnya, dari bahaya dan kerusakan yang disebabkan oleh sambaran petir (Emmy Hosea et al., 2004).

E. Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

Berdasarkan PUIPP (Badan Perencanaan Pengembangan Industri Indonesia), jenis bangunan yang memerlukan proteksi petir dikelompokkan menjadi:

- a. Bangunan tinggi, seperti gedung bertingkat, menara, dan cerobong asap pabrik
- b. Bangunan yang menyimpan bahan peledak atau mudah terbakar, seperti pabrik amunisi dan gudang bahan kimia.
- c. Bangunan umum, seperti sekolah, stasiun kereta api, bandara, dan sebagainya
- d. Bangunan dengan fungsi dan nilai estetika tertentu, seperti museum dan arsip negara.

Luas persyaratan pemasangan proteksi petir suatu bangunan ditentukan oleh potensi kerusakan dan bahaya yang akan terjadi jika bangunan tersebut tersambar petir. Persyaratan ini ditentukan dengan menambahkan indeks-indeks tertentu yang mewakili kondisi bangunan di lokasi tertentu dan ditulis sebagai berikut (PUIPP, 1993):

$$R = A + B + C + D + E \dots \dots \dots (2.5)$$

Di mana:

A = Penggunaan dan Konten Bangunan

B = Konstruksi Bangunan

C = Tinggi Bangunan

D = Situasi Bangunan

E = Pengaruh Petir / Hari Guntur

R = Perkiraan Bahaya Petir

Tabel 1. Indeks: Perkiraan sambaran petir

R	Estimasi bahaya	Keamanan
Di bawah 11	Diabaikan	Tidak perlu
Sama dengan 11	Kecil	Tidak perlu
12	Saat ini	Direkomendasikan
13	cukup besar	Direkomendasikan
14	Besar	Direkomendasikan
lebih dari 14	sangat besar	sangat diperlukan

F. Berdasarkan standar IEC 62305-1

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

Di mana A_e adalah luas cakupan struktur (m^2), yaitu permukaan tanah yang diasumsikan memiliki frekuensi sambaran petir langsung setiap tahun. Area yang dilindungi adalah area di sekitar struktur pada jarak $3h$, di mana h adalah tinggi struktur yang dilindungi (Suharto et al., 2023).

G. Penetapan Tingkat Proteksi Bangunan Gedung

Berdasarkan perhitungan N_d dan N_c , maka akan dilakukan hal-hal berikut:

- Jika $N_d \leq N_c$, maka tidak diperlukan sistem proteksi.
- Jika $N_d > N_c$, maka diperlukan sistem proteksi petir dengan efisiensi sebagai berikut (Elektro et al., 2024) :

$$E = 1 - N_c / N_d \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana:

E = Efisiensi Sistem Proteksi Petir

N_d = Frekuensi sambaran petir langsung ke tanah

N_c = Frekuensi sambaran petir tahunan lokal yang diperoleh pada 10-6

Setelah nilai E , yang mewakili efisiensi sistem proteksi petir, dihitung menggunakan persamaan berikut, tingkat proteksi dapat dihitung sesuai dengan tingkat proteksi yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tingkat Perlindungan	EFISIENSI SPP
LEVEL I	0,98
LEVEL II	0,95
LEVEL III	0,90
LEVEL IV	0,80

H. Metode yang digunakan

1. Metode Bola Bergulir

Metode bola menggulung adalah metode yang membuat petir menyerupai bola yang mengguling di atas tanah. Metode ini cocok untuk bangunan dengan struktur yang kompleks. Bola yang menggulung memiliki radius R dan akan jatuh ke tanah atau permukaan bangunan terhubung sebagai konduktor. Titik di mana bola menggulung mengenai tanah akan menjadi lokasi untuk terminasi udara (Ini et al., 2008).

Menempatkan sistem terminasi udara dengan metode ini sudah cukup karena memungkinkan bola hanya menyentuh tanah dan terminasi udara. Area yang dilindungi adalah sebuah bola dengan jari-jari R di sekitar dan di atas bangunan. Berikut adalah tabel 3 Radius bola bergulir berdasarkan tingkat Proteksi

Tabel 3. Radius Bola Bergulir Berdasarkan tingkat Proteksi

Protection Level	Rolling Radius of Ball (m)
I	20
II	30
III	45
IV	60

(Sumber : (Fauzi et al., 2021))

Nilai R ditentukan berdasarkan Tabel 3, yang digunakan berdasarkan tingkat perlindungan. Jari-jari roda dari bola terkait dengan nilai saat ini.

$$I = 0.75\sqrt{R}$$

Catatan:

I = Arus puncak petir (kA)

R = Jari-jari/Radius (m)

2. Metode Sudut Perlindungan (Protective Angle Method)

Metode perlindungan sudut juga dikenal sebagai metode batang Franklin karena pertama kali diperkenalkan oleh Benjamin Franklin. Metode ini melibatkan sistem perlindungan petir berbentuk kerucut tembaga dengan sudut perlindungan konikal. Sudut perlindungan ditentukan berdasarkan tingkat perlindungan.

Tabel 4. Penempatan Terminasi Udara Menurut Tingkat Perlindungan

Protection Level	h (m)	20	30	45	60
	R (m)	a^0	a^0	a^0	a^0
I	20	25	-	-	-
II	30	35	25	-	-
III	45	45	35	25	-
IV	60	55	45	35	25

(Sumber: (Area, 2008))

Berdasarkan Tabel II, jari-jari perlindungan untuk dasar kerucut melingkar dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$r = h \tan \alpha$$

Di mana:

r = jari-jari perlindungan (m)

h = tinggi bangunan ditambah terminal udara (m)

α = derajat sudut perlindungan (α°)

3. Metode Jala Sistem penekanan udara berbasis jaring dapat diterapkan pada struktur mana pun, terlepas dari tinggi bangunan atau bentuk atap. Tabel di bawah ini menunjukkan ukuran lubang jaring yang sesuai dengan tingkat perlindungan bangunan. Metode jaring ini mengasumsikan kelengkungan bola yang tidak berputar untuk sistem penekanan udara. Ini mengatasi masalah yang tercantum dalam Tabel 5 di bawah.

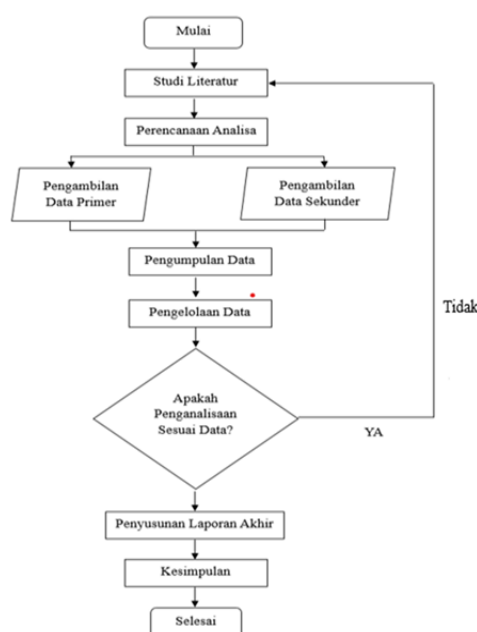
Tabel 5. Ukuran Jala Berdasarkan Tingkat Perlindungan

Protection Net Level	Net Size
I	5 x 5 m
II	10 x 10 m
III	15 x 15 m
IV	20 x 20 m

(Sumber: (Anti Petir Surabaya, 2017))

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan untuk menjawab rumusan masalah yang telah ditentukan.



Gambar 2. Flow Chart Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Metode deskriptif digunakan untuk menguji hipotesis atau menjawab pertanyaan tentang kondisi dan keadaan yang langsung terkait dengan objek penelitian, yang melibatkan pengumpulan data. Metode ini melibatkan analisis, di mana analisis akan mencapai tahap deskriptif. Metode ini akan menyajikan fakta dan menganalisisnya secara sistematis untuk pemahaman yang lebih mudah dan kesimpulan dapat ditarik. Berdasarkan kesimpulan yang ditarik, jelas bahwa mereka didasarkan pada dasar faktual, sehingga data yang diperoleh dapat langsung dikembalikan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Bahaya Petir di Stasiun LRT Jakarta

Berdasarkan peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dapat dilihat pada tabel data bangunan stasiun dan lintasan kereta, maka untuk bangunan tersebut diperoleh pada tabel (Reaktor et al., n.d.).

Tabel 6. Detail Data Stasiun Kereta LRT

Data	Jalur lintasan LRT
Panjang Stasiun	20,6 km
Lebar Stasiun	120 m
Tinggi Stasiun	25 m

Tabel 7. Data bangunan Jalur lintasan kereta LRT

Indeks		Uraian	Nilai
A	Jenis Bangunan	Bangunan yang banyak sekali orang, seperti gedung sekolah, stasiun, bandara, dan sebagainya	3
B	Konstruksi Bangunan	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangkaian besi dengan atap	2
C	Tinggi bangunan	25 meter	4
D	Kondisi bangunan	Ditanah datar pada semua ketinggian	0
E	Hari Guruh	193	7

Berdasarkan peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dapat dilihat pada tabel data bangunan stasiun, maka untuk bangunan tersebut diperoleh:

Maka diperoleh indeks perkiraan bahaya sambaran petir:

$$R = \text{Indeks A} + \text{Indeks B} + \text{Indeks C} + \text{Indeks D} + \text{Indeks E}$$

$$R = 3 + 2 + 4 + 0 + 7 = 16$$

Berdasarkan metode indeks bahaya, diperoleh $R = 16$, Nilai tersebut menunjukkan risiko sambaran petir sangat besar, sehingga stasiun dan lintasan wajib dipasang sistem proteksi petir.

Analisa Stasiun LRT

Penentuan kebutuhan sistem penangkal petir pada bangunan Stasiun LRT dilakukan dengan menggunakan data hari guruh, ukuran bangunan, area proteksi, frekuensi sambaran langsung (N_d), dan frekuensi sambaran tahunan (N_c)(Ginting et al., 2020).

1. Kerapatan sambaran ke tanah (N_g)

Dengan hari guruh Jakarta sebesar 193 hari/tahun:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} = 28,77/\text{km}^2/\text{tahun}$$

2. Area cakupan ekivalen (A_e)

Bangunan dengan tinggi 25 m, panjang 20,6 m, dan lebar 120 m menghasilkan:

$$A_e = 41.224,5 \text{ m}^2$$

3. Frekuensi sambaran langsung (N_d)

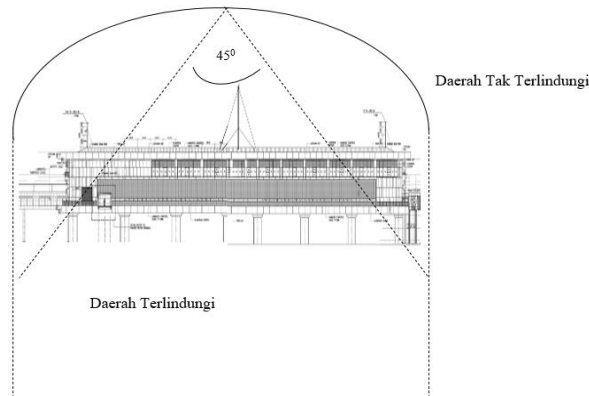
$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} = 1,19 \text{ sambaran/tahun}$$

4. Penentuan proteksi

Karena $N_d (1,19) > N_c (0,1)$, maka diperlukan sistem proteksi petir. Nilai efisiensi dihitung:

$$E \geq 1 - (N_c/N_d) = 0,92 (\approx 92\%)$$

Berdasarkan standar IEC 62305, nilai efisiensi ini termasuk Tingkat Proteksi III dengan radius proteksi 45^0 m.



Gambar 3. Radius Penangkal Petir Stasiun LRT Jakarta tampak depan

B. Analisa Bahaya Sambaran Petir Pada Jalur lintasan kereta LRT Jakarta

Tabel 8. Data bangunan Jalur lintasan kereta LRT

Data	Jalur lintasan LRT
Panjang jalur lintasan	6,4 km
Lebar jalur lintasan	9,5 m
Tinggi jalur lintasan	25 m

Berdasarkan peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dapat dilihat pada tabel data bangunan stasiun dan lintasan kereta, maka untuk bangunan tersebut diperoleh pada tabel 9:

Tabel 9. Data bangunan Jalur lintasan kereta LRT

Indeks	Uraian	Nilai
A	Bangunan yang banyak sekali orang, seperti gedung sekolah, stasiun, bandara, dan sebagainya	3
	Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau rangkaian besi dengan atap	2
B	Konstruksi Bangunan	

C	Tinggi	25 meter	4
	bangunan		
D	Kondisi	Ditanah datar pada semua	0
	bangunan	ketinggian	
E	Hari Guruh	193	7

Berdasarkan peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) dapat dilihat pada tabel 4.1 data bangunan stasiun dan lintasan kereta, maka untuk bangunan tersebut diperoleh:

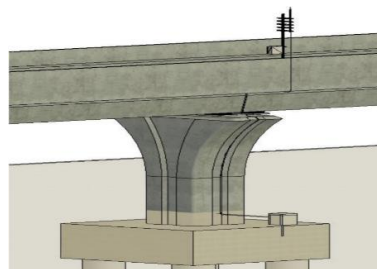
Maka diperoleh indeks perkiraan bahaya sambaran petir:

$$R = \text{Indeks A} + \text{Indeks B} + \text{Indeks C} + \text{Indeks D} + \text{Indeks E}$$

$$R = 3 + 2 + 4 + 0 + 7 = 16$$

Berdasarkan metode indeks bahaya, diperoleh $R = 16$, Nilai tersebut menunjukkan risiko sambaran petir sangat besar, sehingga stasiun dan lintasan wajib dipasang sistem proteksi petir.

Analisa Jalur Lintasan Kereta LRT



Gambar 4. Ilustrasi Penangkal petir jalur lintasan kereta LRT

Untuk menentukan kebutuhan penangkal petir pada lintasan LRT digunakan data hari guruh, ukuran lintasan, area proteksi, frekuensi sambaran langsung (N_d), dan frekuensi sambaran tahunan (N_c).

1. Kerapatan sambaran ke tanah (N_g)

Dengan hari guruh Jakarta sebesar 193 hari/tahun:

$$N_g = 0,04 \times T_d^{1,25} = 28,77/\text{km}^2/\text{tahun}$$

2. Area cakupan ekivalen (A_e)

Lintasan dengan tinggi 25 m, panjang 6,4 km, dan lebar 9,5 m menghasilkan:

$$A_e = 79.423,925 \text{ m}^2$$

3. Frekuensi sambaran langsung (N_d)

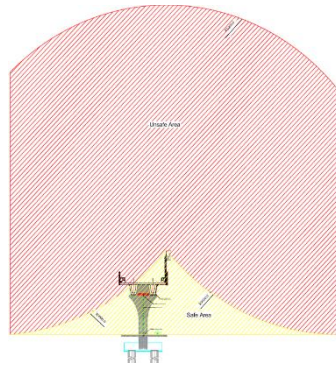
$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} = 2,29 \text{ sambaran/tahun}$$

4. Penentuan proteksi

Karena $N_d (2,29) > N_c (0,1)$, maka diperlukan sistem proteksi petir. Nilai efisiensi:

$$E \geq 1 - (N_c/N_d) = 0,956 (\approx 95\%)$$

Berdasarkan standar IEC 62305, nilai efisiensi ini termasuk Tingkat Proteksi II dengan radius proteksi 30⁰ m.



Gambar 5. Radius Penangkal Petir Jalur lintasan LRT tampak depan

Perhitungan Jarak Daerah Terproteksi Penangkal Petir

Setelah menganalisis tingkat proteksi petir, dilakukan perhitungan luas daerah terproteksi untuk memastikan wilayah telah terlindungi dengan baik. Hasil perhitungan menunjukkan Stasiun berada pada tingkat proteksi III, sedangkan jalur lintasan pada tingkat proteksi II. Analisis daerah terproteksi dilakukan dengan metode bola bergulir, sudut perlindungan, dan metode jala.

Analisis Daerah Terproteksi Stasiun Menggunakan Metode Bola Bergulir

Setelah menentukan tingkat proteksi pada Stasiun LRT Jakarta, dilakukan analisis jarak daerah terproteksi menggunakan metode bola bergulir dengan radius proteksi level III sebesar 45 m.

1. Arus puncak (I):

$$R = I^{0,75} \rightarrow I = 0,75 \sqrt{45} = 160,060 \text{ kA}$$

2. Jarak sambar (ds):

$$d_s = 10 \times I^{0,65} = 270,884 \text{ m}$$

3. Radius proteksi (Rs):

$$R_s = \sqrt{h_1 (2d_s - h_1)}$$

$$R_s = \sqrt{25 (2 \times 270,884 - 25)}$$

$$R_s = \sqrt{25 (541,768 - 25)}$$

$$R_s = \sqrt{116,272}$$

$$R_s = 10,783 \text{ m}$$

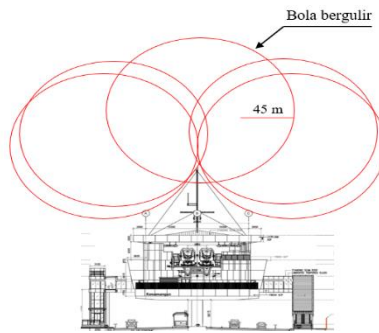
4. Luas perlindungan (A):

$$A = \pi \cdot R_s^2$$

$$A = 3,14 \times (10,7832)$$

$$A = 365,097 \text{ m}^2$$

Tingkat proteksi bangunan Stasiun LRT berada pada level III dengan radius proteksi bola bergulir sebesar 45 meter.



Gambar 6. metode bola bergulir pada Stasiun LRT tampak

Analisis Daerah Terproteksi Jalur Lintasan Kereta Menggunakan Metode Bola Bergulir

Setelah diketahui radius proteksi pada stasiun dengan metode bola bergulir, analisis selanjutnya dilakukan pada jalur lintasan LRT. Pada jalur lintasan digunakan tingkat proteksi level II dengan radius proteksi sebesar 30 m.

1. Arus puncak (I):

$$R = I^{0,75} \rightarrow I = \sqrt[0,75]{30} = 93,217 \text{ kA}$$

2. Jarak sambar (ds):

$$ds = 10 \times I^{0,65} = 190,621 \text{ m}$$

3. Radius proteksi (Rs):

$$R_s = \sqrt{h_1 (2ds - h_1)}$$

$$R_s = \sqrt{25 (2 \times 190,621 - 25)}$$

$$R_s = \sqrt{25 (381,242 - 25)}$$

$$R_s = \sqrt{9.506,05}$$

$$R_s = 97,499 \text{ m}$$

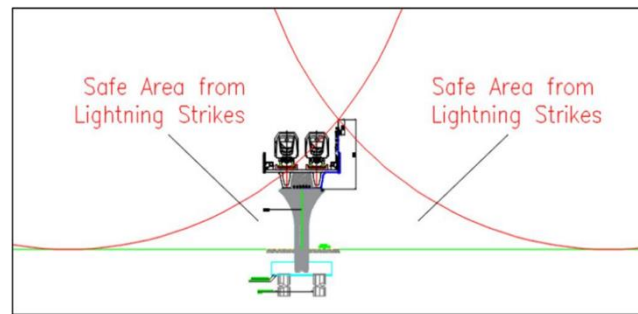
4. Luas perlindungan (A):

$$A = \pi \cdot R_s^2$$

$$A = 3,14 \times (97,4992)$$

$$A = 29.849,013 \text{ m}^2$$

Dengan demikian, jalur lintasan LRT berada pada tingkat proteksi II dengan radius proteksi bola bergulir sebesar 30 m.

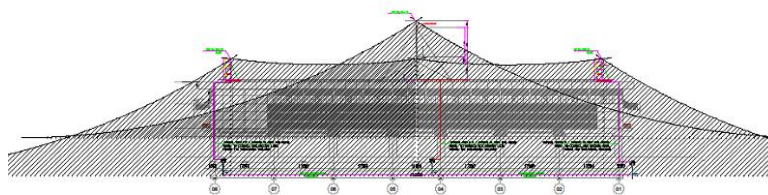


Gambar 7. (Tampilan Depan) Area Aman dari Sambaran Petir - Posisi kiri

Pada gambar 5 terlihat bahwa bola dengan radius 30 m tidak menyentuh perangkat persinyalan dan telekomunikasi saat terjadi sambaran petir.

Analisis Daerah Terproteksi Stasiun LRT Menggunakan Metode Sudut Perlindungan (*Protective Angle Methode*)

Hasil perhitungan menunjukkan Stasiun LRT berada pada tingkat proteksi III dengan sudut proteksi sebesar 45° .



Gambar 8. metode sudut proteksi stasiun LRT tampak depan

Gambar 4.10 menunjukkan metode sudut proteksi Stasiun LRT. Area proteksi berbentuk kerucut dengan puncaknya pada terminasi udara. Lebar alas proteksi dihitung dengan:

$$r = h \cdot \tan \alpha$$

$$r = 25 \cdot \tan 45^\circ$$

$$r = 25 \text{ meter}$$

kemudian diameter lebar radius di dapat :

$$(\phi) = 2 \cdot r$$

$$(\phi) = 2 \cdot 25 \text{ meter}$$

$$(\phi) = 50 \text{ meter}$$

Dengan demikian, jari-jari alas proteksi adalah 25 m atau diameter 50 m untuk setiap terminasi udara yang terpasang.

Analisis Daerah Terproteksi Jalur Lintasan Kereta LRT Menggunakan Metode Sudut Perlindungan (Protective Angle Methode)

Daerah yang terlindungi oleh penangkal petir berbentuk seperti kerucut, dengan ujung atasnya adalah titik penangkal petir. Untuk menghitung daerah terproteksi jalur lintasan LRT menggunakan rumus sebagai berikut:

$$r = h \cdot \tan \alpha$$

$$r = 25 \cdot \tan 30^\circ$$

$$r = 14,44 \text{ meter}$$

kemudian diameter lebar radius di dapat :

$$(\phi) = 2 \cdot r$$

$$(\phi) = 2 \cdot 14,44 \text{ meter}$$

$$(\phi) = 28,88 \text{ meter}$$

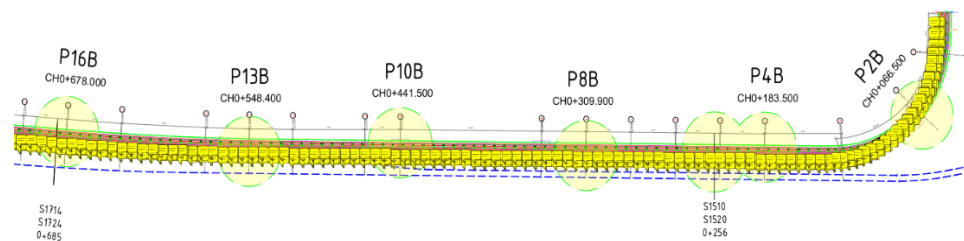
Keterangan :

r : Jari-jari alas proteksi

h : Tinggi penangkal petir / terminasi udara

$\tan \alpha$: Sudut proteksi penangkal petir

(ϕ) : Diameter alas proteksi (lebar radius penuh)



Gambar 9. metode sudut proteksi Jalur Lintasan Kereta LRT tampak atas

Terlihat gambar 7 di dapatkan jari-jari alas yg terbentuk dari radius proteksi yang di hasilkan adalah sebesar 14,44 meter atau dengan lebar radius 28,88 meter setiap terminasi udara yang terpasang.

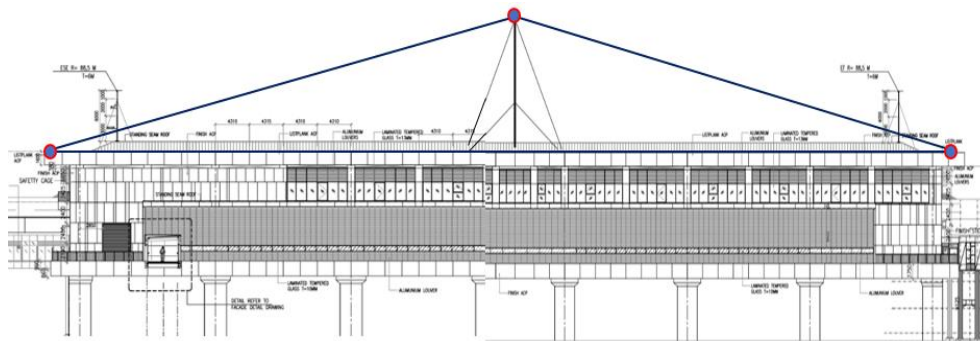
Analisis Daerah Terproteksi Stasiun LRT Menggunakan Metode Jala

Metode Jala ini hanya membutuhkan satu parameter untuk menentukan

batasan-batasan metode, yaitu tingkat proteksi bangunan tersebut. Tingkat proteksi bangunan stasiun LRT adalah tingkat III oleh karena itu ukuran jala yang akan dipakai dalam penerapan metode jala ini adalah 15 x 15 m minimum.

1. Data Bangunan Stasiun:
 - Panjang atap (L) = 120 m
 - Lebar atap (W) = 20,6 m
 - Luas atap (A) = $L \times W = 120 \times 20,6 = 2.472 \text{ m}^2$
2. Level Proteksi:
 - Berdasarkan tingkat risiko, digunakan Proteksi Level III
 - Berdasarkan standar IEC 62305, ukuran jala Level III = $15 \text{ m} \times 15 \text{ m}$
 - Luas tiap jala = $15 \times 15 = 225 \text{ m}^2$
3. Jumlah Jala yang Dibutuhkan:

Jumlah jala = Total luas atap / luas per jala = $2.472 / 225 \approx 11$ jala



Gambar 10. 1 Metode Jala pada bangunan Stasiun LRT

Gambar 4.12 menjelaskan bahwa Pemasangan jala dilakukan mengikuti kontur tepi bangunan dan disusun dalam tiga baris konduktor horizontal sepanjang ± 40 meter, dengan titik sambungan konduktor berperan sebagai lokasi pemasangan terminasi udara.

Analisis Daerah Terproteksi Jalur Lintasan LRT Menggunakan Metode Jala

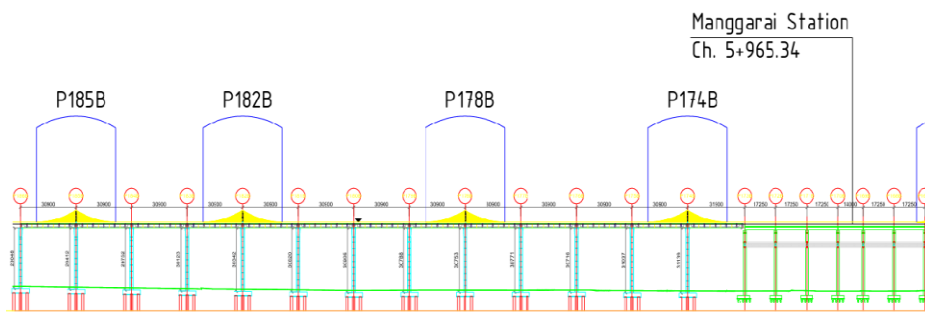
Untuk memberikan perlindungan maksimal terhadap jalur lintasan LRT sepanjang 6,4 km dan lebar 9,5 meter, digunakan metode jala dengan ukuran 10×10 meter sesuai standar proteksi Level II berdasarkan IEC 62305.

1. Data Jalur Lintasan
 - Panjang lintasan (L) = 6.400 m (6,4 km)
 - Lebar lintasan = 9,5 m
 - Luas area jalur = $6.400 \times 9,5 = 60.800 \text{ m}^2$
2. Level Proteksi:
 - Menggunakan Proteksi Level II
 - Ukuran jala menurut IEC 62305 untuk Level II = $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$

- Luas tiap jala = $10 \times 10 = 100 \text{ m}^2$

3. Jumlah Jala yang Dibutuhkan:

Jumlah jala = Total luas area / luas per jala = $60.800 / 100 = 608$ jala



Gambar 11. 2 Metode jala pada jalur lintasan LRT

Gambar 4.13 menjelaskan konduktor utama dipasang sejajar sepanjang lintasan dengan interval 10 meter, sedangkan konduktor penghubung dipasang secara melintang pada jarak yang sama guna membentuk jala pelindung, di mana setiap titik perpotongan dipasang terminasi udara (finial) dan diintegrasikan dengan sistem pentanahan.

Analisa Hasil Perbandingan Ketiga Metode

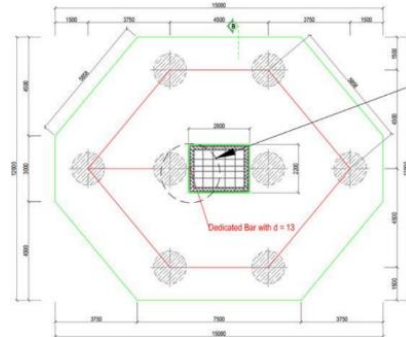
Dalam penerapan sistem proteksi petir pada proyek LRT Jakarta Fase 1B digunakan tiga metode, yaitu sudut perlindungan, jala, dan bola bergulir.

1. Metode sudut perlindungan: Menentukan zona aman dengan garis sudut dari terminasi udara. Mudah diterapkan untuk bangunan sedang, tetapi kurang efektif pada struktur tinggi karena sudut semakin sempit.
2. Metode jala: Menggunakan konduktor grid horizontal pada atap atau lintasan rel, mampu melindungi area datar secara merata, namun kurang memperhitungkan dimensi vertikal.
3. Metode bola bergulir: Menggunakan radius imajiner untuk mengidentifikasi titik rentan secara tiga dimensi, sehingga proteksinya lebih luas dan akurat pada struktur tinggi maupun area terbuka.

Hasil perbandingan menunjukkan metode bola bergulir memberikan perlindungan paling optimal dan layak dijadikan metode utama, sedangkan sudut perlindungan dan jala tetap relevan sebagai pendukung untuk memperluas cakupan proteksi.

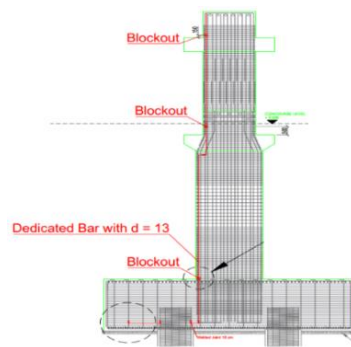
F. Perencanaan Grounding dan Bonding

1. Grounding dan Bonding untuk Stasiun LRT



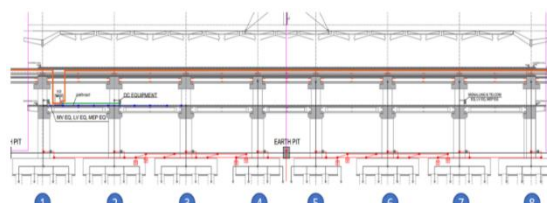
Gambar 12. Koneksi Bored Pile pada Pier Stasiun

Seperti terlihat pada Gambar 9, bagian atas pier dilengkapi beberapa bored pile untuk memastikan struktur tetap kokoh dan kuat. Setiap pier memiliki jumlah bored pile yang berbeda. Karena letaknya berdekatan, berpotensi timbul perbedaan tegangan. Oleh karena itu, setiap bored pile dihubungkan menggunakan konduktor dan dilakukan pengelasan.



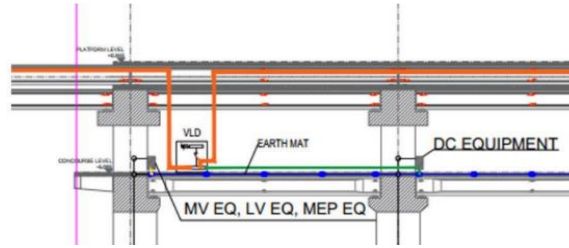
Gambar 13. Besi Khusus pada Pier Stasiun LRT

- Seperti terlihat pada Gambar 10, pier stasiun digunakan sebagai koneksi grounding dengan besi khusus yang dipasang sepanjang kolom pier dan dilas pada tulangan struktur pier. Besi khusus ini juga dihubungkan ke batang las khusus. Sistem grounding substation harus sesuai dengan standar IEC 62305-4.
- Setiap stasiun memiliki blok pada tiga level berbeda, yaitu lantai dasar, lantai concourse, dan lantai peron. Masing-masing blok dihubungkan dengan besi khusus.
- Beberapa METB (Main Earthing Terminal Busbar) ditempatkan di Pier 1, 2, dan 7. Pier 1 dan 2 digunakan untuk ruang traksi, sedangkan Pier 7 untuk ruang sinyal dan telekomunikasi. Ilustrasi pier stasiun dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 14. METB diruang gardu

d. Pada area substation terdapat earth mat yang juga terhubung ke METB di Pier 1 menggunakan kabel NYA 150 mm². Tata letak dapat dilihat pada Gambar 15.



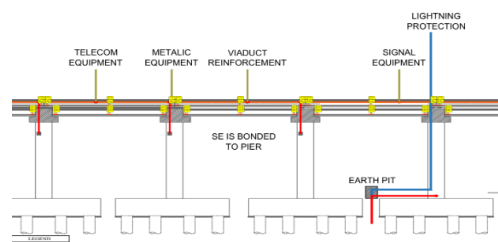
Gambar 15. METB pada Ruang Substation

2. Grounding dan Bonding pada Jalur LRT

Grounding peralatan di area lintasan sangat penting untuk keamanan operasional, perlindungan peralatan, serta kestabilan sistem kelistrikan. Berbagai komponen logam dan sistem elektrifikasi tegangan tinggi seperti rel, perangkat telekomunikasi, sistem persinyalan, dan panel kontrol rentan terhadap tegangan lebih (sambaran petir maupun arus bocor).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan:

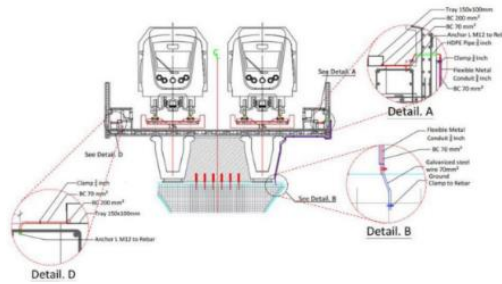
- Dipasang kabel 2×200 mm² (Earth Structure) sepanjang jalur utama ETB 3 di Pier 7, yang dihubungkan ke sistem persinyalan, telekomunikasi, AFC, PSD, SCADA, serta jalur wayside dari ujung ke ujung. Kabel ini dihubungkan ke beberapa perangkat, seperti:
 - a. Peralatan Telekomunikasi: WAP (Wireless Access Point)
 - b. Sistem Persinyalan: Point Machine, LED Signal, Axle Counter, Balise
 - c. Peralatan Logam: Signal Markers
 - d. Penguat Jembatan (Overpass Reinforcement)



Gambar 16. Grounding Pier pada Jalur Rel LRT

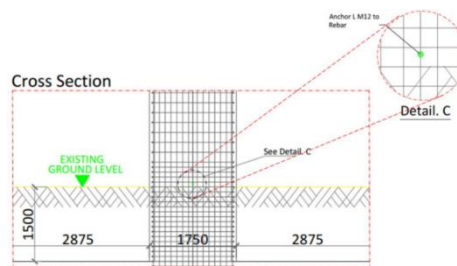
- Kabel di-grounding dengan menghubungkannya ke struktur internal pier (kecuali pier dengan proteksi petir), seperti terlihat pada Gambar 13.

Gambar 16 memperlihatkan representasi visual rangkaian grounding pada posisi kereta, menunjukkan bahwa seluruh komponen logam terhubung ke sistem grounding.



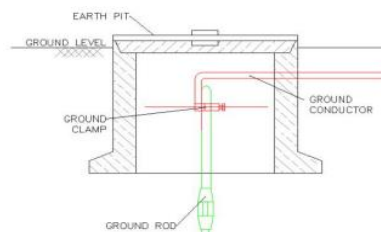
Gambar 17. Strategi Pembumian

Menurut regulasi grounding, sistem ini dapat memanfaatkan tulangan baja dalam pondasi beton. Sambungan antara kabel Structural Earth (SE) dan tulangan baja menggunakan kabel 70 mm² Bare Conductor (BC) serta 70 mm² baja galvanis. Pada level tanah pier, dipasang anchor yang terhubung ke tulangan beton untuk kebutuhan pemeliharaan (*POWER SUPPLY SYSTEM – EARTHING , LIGHTNING , BONDING , AND STRAY CURRENT*, n.d.) (lihat Gambar 16).



Gambar 18. L Anchor untuk Pemeliharaan

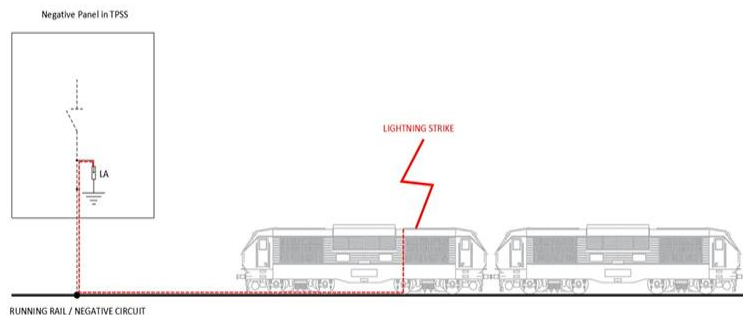
Gambar ini menjelaskan konsep equipotential bonding. Setelah jalur grounding direncanakan, dibutuhkan grounding hole untuk melindungi sistem dan perangkat (sinyal, telekomunikasi, dll.) dari lonjakan tegangan atau arus bocor akibat sambaran petir. Komponennya meliputi:



Gambar 19. Ilustrasi Batang Penghubung Ground dan

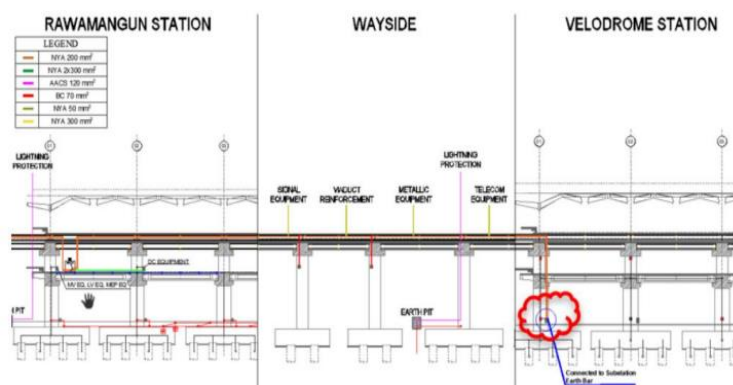
1. Earth pit: Lubang proteksi sistem grounding
2. Ground rod: Batang logam ditanam ke tanah untuk menyalurkan arus
3. Ground conductor: Kabel yang menghantarkan arus gangguan ke ground rod
4. Ground clamp: Pengikat kabel ke ground rod

Kereta dibangun dengan "Kandang Faraday", yaitu struktur pelindung berbasis prinsip elektromagnetik yang mencegah masuknya medan listrik dan elektromagnetik ke dalam kereta dengan mendistribusikan muatan di permukaan luar konduktor. Penutup logam kereta mengarahkan arus petir ke rel negatif menuju TPSS terdekat dan ditekan oleh arrester di panel negatif. Gambar 17 menunjukkan alur sambaran petir pada kereta LRT.



Gambar 10. Sistem Proteksi Petir pada Kereta LRT

Pada gambar 18 merupakan Interface Sistem Pembumian pada proyek LRT Jakarta Fase 1B akan diintegrasikan ke LRT Jakarta Fase 1A melalui kabel SE, Kabel Special Equipment (SE) akan dipasang dari stasiun velodrome (fase 1A) hingga ujung jalur proyek fase 1B (Manggarai), Kemudian pada stasiun velodrome, Kabel Special Equipment (SE) akan diakhiri ke batang pembumian di ruang gardu induk.



Gambar 11. Koneksi Antarmuka ELB Fase 1A ke Fase 1B

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa: (1). Sistem proteksi petir pada LRT Jakarta Fase 1B mengacu pada PUIPP, IEC 62305-1, IEEE Std 80-2000 (pembumian), dan PUIL. (2). Tingkat proteksi dihitung melalui analisis risiko sambaran dan efisiensi. Hasilnya, stasiun memiliki radius proteksi 450 dengan efisiensi 90% (level III), sedangkan jalur lintasan radius 300 dengan efisiensi 95% (level II). (3). Cakupan proteksi: (a). Bola Bergulir: 365.097 m² (stasiun) dan 29.849,013 m² (lintasan). (b). Sudut Proteksi: alas proteksi 38,935 m (radius 77,87 m per terminasi udara). (c). Metode Jala: stasiun butuh 11 jala (level III), lintasan

608 jala (level II). (4). Sistem grounding dirancang dengan elektroda logam, kabel Bare Conductor, dan resistansi tanah ≤ 5 Ohm. Bonding diterapkan untuk menyamakan potensial logam, mencegah loncatan tegangan saat sambaran petir.

Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah, untuk meningkatkan efektivitas sistem proteksi petir pada LRT Jakarta Fase 1B disarankan dilakukan pemeliharaan rutin agar resistansi tanah tetap <1 Ohm, integrasi monitoring digital, serta pelatihan teknis bagi petugas. Penggunaan metode proteksi gabungan (bola bergulir, sudut proteksi, jala) terbukti efektif dan layak dijadikan standar pada proyek infrastruktur serupa, dengan evaluasi berkala sesuai perkembangan teknologi dan standar IEC 62305.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PT. Len Railway Systems, khususnya tim proyek Fase 1B, atas dukungan dan data teknis yang diberikan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing dan penguji yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan dalam penyusunan penelitian ini. Tidak lupa, apresiasi diberikan kepada rekan-rekan sejawat dan keluarga atas doa, motivasi, serta dukungan moral yang sangat berarti hingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Anti Petir Surabaya. (2017). *Penangkal petir Erico*. Antipetir.co.id.
- Area, U. M. (2008). *Akt{xr}*.
- Arief Wahyuadji, M. M., Purwasih, N., Permata, D., & Sinaga, H. H. (2024). Desain sistem proteksi eksternal gedung terhadap surja petir di Museum Negeri Lampung. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(2), 95–104. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.2.95-104>
- Atmam, U. S. (2015). Perancangan kinerja penangkal petir menggunakan metoda bola gelinding pada gedung perpustakaan Universitas Lancang Kuning Pekanbaru. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 13(1), 130–135.
- Barasa, M. C. M., Patras, L. S., & Tumaliang, H. (2017). Analisis kinerja lightning arrester pada jaringan transmisi 150 Kv sistem Minahasa khususnya pada penyulang Kawangkoan - Lopana. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 7–14. <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/download/15567/15105>
- Cecilia, Y. (2022). Analisis kerapatan sambaran petir wilayah Provinsi Banten periode Juli 2020–Juni 2021.
- Elektro, J. T., Teknik, F., & Tarakan, U. B. (2024). Menggunakan sudut proteksi dan bola bergulir pada gedung main plan PT. Phoenix Resources International Tarakan. *Cross Masarel Lamgogo Banjarnahor*.

- Fauzi, M., Muliadi, R. A., Syukri, & Multazam, T. (2021). Analisis penangkal petir dan luas area yang terproteksi pada BTS. *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology (AJEETECH)*, 1(1), 23–28.
- Ginting, T., Janter, N., Andrew, G. P., & Pane, A. (2020). Simulasi tegangan induksi kabel akibat arus petir pada kawat penangkal petir. *Jurnal Teknologi Energi Uda*, 9(2), 115–122.
- Hosea, E., Iskanto, E., & Luden, H. M. (2004). Penerapan metode jala sudut proteksi dan bola bergulir pada sistem proteksi petir eksternal yang diaplikasikan pada Gedung W Universitas Kristen Petra. *Jurnal Teknik Elektro*, 4(1), 1–9. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/elk/article/view/15880>
- Ini, S., Untuk, D., Sebagian, M., Menjadi, P., Teknik, S., Elektro, D. T., Teknik, F., & Indonesia, U. (2008). Pada gedung bertingkat dengan metode bola bergulir, sudut perlindungan dan...
- Karta, A. (2020). Analisis kebutuhan sistem proteksi sambaran petir pada gedung bertingkat. *Jurnal Teknik Elektro*, 9(3), 773–780.
- Mahira, A., Widyanto, A. N., Husnayain, F., & Fitri, I. R. (2024). Evaluasi sistem proteksi petir eksternal pada bangunan pusat perbelanjaan studi kasus Gedung XYZ. *Cyclotron*, 7(2), 60–67. <https://doi.org/10.30651/cl.v7i02.23283>
- Mpu, U., & Cipinang, T. (2024). *Bhinneka Multidisiplin Journal*, 85–99.
- Mulyanto, A., & Saodah, S. (2014). Realisasi dan pengujian prototype alat proteksi petir dengan metoda pembalik muatan. *Reka Elkomika*, 2(1), 49–60. <http://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaelkomika/article/view/504>
- Nasulition, F. A., Putri, R., & Ikhsan, K. (2024). Kajian awal penangkal petir pada gedung bertingkat di wilayah Bukit Indah Lhokseumawe. *Jurnal Teknik Elektro*, 6, 145–150.
- Noviana, E., & Karim, S. (2022). Perancangan penangkal petir di instalasi pengolahan air (IPA) Manarap pada Perusahaan Daerah Air Minum Intan Banjar. *Jurnal EEICT (Electric Electronic Instrumentation Control Telecommunication)*, 5(2), 18–24. <https://doi.org/10.31602/eeict.v5i2.9212>
- Prayitno, A., Pratama, F. M., Afif, L., & Fakultas Teknik, Universitas Indraprasta PGRI. (2024). Baranangsiang integrated transportation facilities with TOD approach in Bogor City. *Langkau Journal of Architecture*, 7(2), 199–216. <https://doi.org/10.30998/lja.v7i2.22880>
- PUIPP. (1993). *Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia*. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Riyanto, S., & Appulembang, F. (2024). Metode sudut proteksi dan bola bergulir pada gedung. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 53–57.
- Siburian, J. M., Jumari, & Hutagalung, T. M. (2019). Studi sistem penangkal petir pada menara lampu penerangan parkir Bandara Kualanamu. *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), 73–80.
- Suharto, T. I., Irfansyah, A., & Suprpto, Y. (2023). Sistem penangkal petir di gedung telekomunikasi dan gedung Pai Matsc. *Journal of Public Transportation Community*, 3(2), 101–112. <https://doi.org/10.46491/jptc.v3i2.1600>
- Suwarna, A. P. (2022). Analisis sistem pentanahan pada jaringan tegangan rendah di Gedung Mal Jayapura. *Jurnal Impresi Indonesia*, 1(12), 1273–1281. <https://doi.org/10.58344/jii.v1i12.742>