

## BAB IV

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas beberapa hal mengenai sistem proteksi eksternal pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya. Permasalahan yang akan dibahas adalah penentuan kebutuhan tingkat proteksi sesuai dengan klasifikasi gedung yang berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), penentuan daerah lindung, dan perancangan sistem proteksi eksternal gedung tersebut yang meliputi perancangan sistem terminasi udara, penghantar penyalur dan pembumian. Dalam analisis akan dicantumkan pula rekomendasi untuk masing-masing kebutuhan proteksi eksternal yang aman dan efektif untuk melindungi gedung dari sambaran petir.

#### 4.1. Penentuan Tingkat Proteksi Gedung

Penentuan tingkat proteksi suatu gedung harus berdasarkan pada klasifikasi gedung tersebut. Dalam Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) telah dicantumkan tabel-tabel klasifikasi gedung yang disusun dalam beberapa indeks dengan parameter tertentu yang masing-masing memiliki nilai atau poin dalam bentuk angka, untuk mempermudah dalam perhitungan kebutuhan proteksi gedung.

##### 4.1.1. Dimensi, Sifat dan Karakteristik Gedung

Sebelum diklasifikasikan maka perlu diketahui dimensi, sifat dan karakteristik gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya Malang sesuai yang dicantumkan pada Tabel 4.1.

##### 4.1.2. Klasifikasi Gedung Berdasarkan PUIPP

Besarnya kebutuhan suatu bangunan akan adanya sistem proteksi petir dapat ditentukan oleh indeks-indeks yang menyatakan faktor-faktor tertentu sesuai dengan PUIPP pada Lampiran 1 yakni Tabel 1 sampai dengan Tabel 5. Hasil penjumlahan indeks-indeks tersebut, merupakan indeks perkiraan bahaya akibat sambaran petir. Semakin besar hasil penjumlahan indeks-indeks tersebut maka akan semakin besar bahaya serta kerusakan yang terjadi akibat sambaran petir pada gedung.

Tabel 4.1 Data Dimensi, Karakteristik dan Sifat Gedung

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	76,43 meter
Panjang Gedung	58,24 meter
Lebar Gedung	56,72 meter
Sifat bangunan	Penting
Karakteristik material	Beton bertulang dengan kerangka besi pada bagian atap

Sumber : Gambar Perencanaan Gedung Utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis  
Universitas Brawijaya

Sesuai dengan pengamatan yang dilakukan pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis, maka sesuai dengan tabel Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) yang dicantumkan pada lampiran 1, maka:

- Berdasarkan Tabel L1-1, gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis merupakan sebuah prasarana pendidikan sehingga memiliki nilai indeks A sebesar 3 poin.
- Berdasarkan Tabel L1-2, gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis memiliki konstruksi beton bertulang dan atap bukan logam sehingga memiliki nilai indeks B sebesar 2 poin.
- Berdasarkan Tabel L1-3, tinggi gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis mencapai 76 meter sehingga memiliki nilai indeks C sebesar 7 poin.
- Berdasarkan Tabel L1-4, gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis terletak pada tanah datar, sehingga tidak mendapatkan nilai pada indeks D.
- Sesuai data dari Stasiun Geofisika Kelas III Karang Kates, Kota Malang memiliki 93 hari garuh pada tahun 2011. Berdasarkan Tabel L1-5, maka gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis memiliki nilai indeks E sebesar 6 poin.

Dari poin-poin yang didapatkan sesuai dengan karakteristik gedung ini akan digunakan sebagai parameter akan kebutuhan sistem proteksi pada bangunan tersebut. Besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-

indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan yang dirumuskan sesuai dengan persamaan (2-11)

$$R = A + B + C + D + E$$

Dengan nilai indeks A=3, B=2, C=7, D=0 dan E=6, sehingga

$$R = 3 + 2 + 7 + 0 + 6$$

$$R = 18$$

Dengan nilai  $R > 14$ , sesuai Tabel 3.4 mengenai perkiraan bahaya sambaran petir berdasarkan PUIPP, maka menunjukkan bahwa gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya sangat memerlukan sebuah sistem proteksi petir.

#### 4.1.3. Penentuan Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Penentuan efisiensi suatu sistem proteksi sangat dipengaruhi oleh perhitungan kerapatan sambaran petir ( $N_g$ ), luas daerah proteksi efektif ( $A_e$ ), dan kerapatan sambaran petir tahunan ( $N_d$ ).

##### a) Perhitungan kerapatan sambaran petir ( $N_g$ )

Kerapatan sambaran petir pada lokasi pembangunan gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis ( $N_g$ ) dapat diestimasi dengan cara menghitung jumlah sambaran petir pada wilayah tersebut. Kerapatan sambaran petir dapat dihitung pula menggunakan data hari guruh sesuai persamaan (2-2).

$$N_g = 0,04T_d^{1,25}$$

Dengan  $T_d$  sebesar 93 hari pada tahun 2011, maka

$$N_g = 0,04 \cdot 93^{1,25}$$

$$N_g = 11,5522 \text{ sambaran / km}^2 \text{ / tahun}$$

##### b) Perhitungan luas daerah proteksi efektif ( $A_e$ )

Perhitungan selanjutnya adalah luas daerah proteksi efektif pada gedung ( $A_e$ ).  $A_e$  merupakan luas permukaan tanah yang dianggap sebagai bangunan gedung yang mempunyai frekuensi sambaran petir langsung tahunan. Gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis termasuk gedung yang berbentuk kompleks. Nilai  $A_{e\max}$  dan  $A_{e\min}$  gedung dapat dihitung melalui persamaan (2-13).

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

Dengan:

$$\text{Panjang gedung (a)} = 58,24 \text{ meter;}$$

$$\text{Lebar gedung (b)} = 56,72 \text{ meter};$$

$$\text{Tinggi maksimum (h}_{\max}) = 76,43 \text{ meter, sehingga diperoleh}$$

$$A_{\text{emax}} = 58,24 \cdot 56,72 + 6 \cdot 76,43(58,24 + 56,72) + 9\pi 76,43^2$$

$$A_{\text{emax}} = 221254 \text{ m}^2$$

Sedangkan jika nilai  $h_{\min}=31,6$  meter, maka diperoleh

$$A_{\text{emin}} = 58,24 \cdot 56,72 + 6 \cdot 31,6(58,24 + 56,72) + 9\pi 31,6^2$$

$$A_{\text{emin}} = 53344 \text{ m}^2$$

Gedung ini memiliki selisih nilai  $A_{\text{emin}}$  dan  $A_{\text{emax}}$  yang cukup besar seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai  $A_{\text{emax}}$  dan  $A_{\text{emin}}$  Gedung

Parameter	Nilai $A_e$ maksimum ( $\text{m}^2$ )	Nilai $A_e$ minimum ( $\text{m}^2$ )
Dimensi Gedung (a,b,h)	221254	53344

Sumber: Hasil Perhitungan

Maka sesuai persamaan (2-14) didapatkan luas ekuivalen rata-rata sebagai berikut

$$A_e' = 9\pi(H_p)^2$$

Dengan  $H_p = H_{\max} = 76,43$  meter, maka

$$A_e' = 9\pi(76,43)^2$$

$$A_e' = 165232 \text{ m}^2$$

### c) Perhitungan Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Perhitungan terperinci sesuai dengan standar IEC 62305-4, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di lokasi pembangunan gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya yang dinyatakan dengan persamaan (2-12)

$$N_d = N_g \cdot A_e' \cdot C_d \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 11,5522 \cdot 165232 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 0,954396 \text{ sambaran / km}^2 / \text{tahun}$$

Dari data Stasiun Meteorologi dan Geofisika Kota Malang diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat ( $N_c$ ) yang diperbolehkan sebesar  $10^{-1}$  sambaran/ $\text{km}^2/\text{tahun}$ . Karena nilai  $N_d$  lebih besar daripada nilai  $N_c$  maka gedung

utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis memerlukan sebuah sistem proteksi petir yang sesuai dengan kondisi bangunan. Efisiensi dari suatu sistem proteksi petir pada gedung dapat ditentukan menggunakan persamaan (2-15).

$$E \geq 1 - N_c/N_d$$

$$E \geq 1 - 10^{-1}/0,954396$$

$$E \geq 0,8952$$

Berdasarkan standar IEC 62305-3, nilai efisiensi sistem proteksi berkaitan dengan tingkat proteksi yang digunakan pada gedung tersebut. Sesuai dengan Tabel 2.6 maka tingkat proteksi minimal yang dibutuhkan oleh gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya adalah tingkat III dengan efisiensi sebesar 0,91 atau 91%. Artinya sistem ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah pada gedung tersebut, sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang.

#### 4.2. Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Metode Bola Gelinding

Metode bola gelinding (*Rolling Sphere Method*) merupakan suatu metode yang prinsipnya adalah menggelindingkan suatu bola dengan jari-jari tertentu pada gedung untuk mengetahui titik sambaran dan daerah lindung yang terbentuk pada gedung tersebut. Perancangan sistem proteksi menggunakan metode bola gelinding meliputi perhitungan jarak sambar dan daerah lindung yang terbentuk pada gedung.

##### 4.2.1. Perhitungan Jarak Sambar Petir

Besarnya jarak sambar petir pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis dinyatakan dalam persamaan (2-16)

$$h_B = 2I_m + 30 \left( 1 - e^{-\frac{I_m}{6,8}} \right)$$

Dengan nilai arus puncak petir yang harus diperhatikan sesuai dengan tingkat proteksi pada Tabel 2.7 yang telah ditentukan adalah 10 kA. Sehingga,

$$h_B = 2 \times 10 + 30 \left( 1 - e^{-\frac{10}{6,8}} \right)$$

$$h_B = 43,1063 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai jarak sambar sebesar 43,1 meter, maka nilai jari-jari bola gelindingnya pun sebesar 43,1 meter. Semakin kecil jari-jari bola maka akan semakin kecil pula arus petir yang diperhatikan untuk dapat menyambar gedung. Maka dilakukan penyesuaian nilai jari-jari bola dari hasil perhitungan dengan nilai yang tercantum pada Tabel 2.8. Sehingga untuk kepentingan perhitungan selanjutnya, digunakan jari-jari bola sebesar 45 meter untuk mengetahui daerah lindung dan titik sambaran petir pada gedung.

#### 4.2.2. Daerah Lindung yang Terbentuk Pada Gedung

Bagian gedung yang tersentuh bola merupakan tempat terjadinya sambaran petir, sedangkan bagian yang tidak tersentuh bola merupakan daerah lindung. Daerah lindung ditentukan oleh jarak sambar yang terkait dengan nilai puncak arus petir. Metode bola gelinding yang diterapkan pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya dengan jari-jari bola sebesar 45 meter, dapat digambarkan dalam bentuk 2 dimensi seperti pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4.

Gambar 4.1 memperlihatkan tampak depan gedung dengan bola berjari-jari 45 meter yang digelinding di sepanjang gedung. Bola yang digelindingkan akan membentuk daerah yang terproteksi dan daerah-daerah yang tidak terproteksi. Daerah yang terproteksi ditunjukkan dengan arsiran. Sedangkan titik-titik terjadinya sambaran dinotasikan dengan angka, yakni 1, 2, dan 3.

Bila terdapat ujung lidah petir yang menyentuh batas permukaan C maka akan terjadi sambaran petir menuju bagian kerangka besi pada atap gedung. Jika lidah petir menyentuh batas permukaan A, B, D, dan E maka akan terjadi sambaran petir menuju bagian tepi atap gedung. Selanjutnya, jika terdapat ujung lidah petir yang mendekati perpotongan permukaan A dan B, B dan C, C dan D, serta D dan E maka sambaran akan terjadi pada objek terdekat dari ujung lidah petir tersebut, sambaran terjauh tidak akan melebihi jarak sambar petir itu sendiri. Tetapi hal ini memiliki probabilitas yang kecil untuk dapat terjadi.

Gambar 4.2 adalah gambar yang memperlihatkan tampak samping kiri gedung dengan boala berjari-jari 45 meter yang digelindingkan di sepanjang gedung. Bola yang digelindingkan akan membentuk daerah yang terproteksi dan

daerah-daerah yang tidak terproteksi. Titik-titik terjadinya sambaran dinotasikan dengan angka, yakni 1, 2, 3, 4, dan 5.

Bila terdapat ujung lidah petir yang menyentuh batas permukaan C maka akan terjadi sambaran petir menuju bagian kerangka besi pada atap gedung. Jika lidah petir menyentuh batas permukaan A, B, dan D maka akan terjadi sambaran petir menuju bagian tepi atap gedung. Jika terdapat ujung lidah petir yang menyentuh batas permukaan E maka akan terjadi sambaran petir pada bagian sisi gedung. Selanjutnya, jika terdapat ujung lidah petir yang mendekati perpotongan permukaan A dan B, B dan C, C dan D, serta D dan E maka sambaran akan terjadi pada objek terdekat dari ujung lidah petir tersebut, sambaran terjauh tidak akan melebihi jarak sambaran petir itu sendiri. Tetapi hal ini memiliki probabilitas yang kecil untuk dapat terjadi. Penjelasan untuk Gambar 4.3 dan 4.4 pada dasarnya adalah sama seperti penjelasan Gambar 4.1 dan 4.2.

### **4.3. Perancangan Sistem Terminasi Udara**

Fungsi utama dari sistem terminasi udara pada suatu sistem proteksi petir adalah untuk mencegah sambaran petir langsung dapat merusak gedung yang diproteksi. Dengan pemilihan dimensi sistem terminasi udara yang tepat, maka efek dari sambaran petir langsung dapat dikurangi. Perancangan sistem terminasi udara meliputi penentuan tata letak dan pemilihan bahan terminasi udara tegak (batang *finial*).

#### **4.3.1. Tata Letak Terminasi Udara Tegak (*Finial*)**

Bagian-bagian gedung yang dapat tersambar petir harus dilindungi oleh sistem terminasi udara yang merupakan komponen penting dalam sistem proteksi petir yang berfungsi untuk menangkap petir dan menyalurkannya melalui penghantar penyalur. Yang terpenting di dalam pemasangan sistem terminasi udara adalah sistem harus diletakkan pada bagian tepi dan sudut bangunan.











Mengacu pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.4 beserta penjelasannya maka beberapa batang terminasi udara atau *finial* harus diletakkan pada titik-titik terjadinya sambaran petir ke gedung. Letak batang *finial* yang tepat untuk melindungi gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis dari sambaran petir langsung ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6. Terlihat pada gambar bahwa gedung membutuhkan 6 batang *finial*.

Setelah dilakukan pemasangan sistem terminasi udara pada titik-titik yang telah dijelaskan sebelumnya, maka ketika terdapat ujung lidah petir yang mengenai batas permukaan sambaran, maka akan langsung diterima oleh sistem terminasi udara, tanpa merusak gedung. Sesuai dengan tingkat proteksi yang telah ditentukan sebelumnya, sistem terminasi udara ini akan menangkap 91% seluruh sambaran petir.

#### 4.3.2. Pemilihan Bahan Terminasi Udara Tegak (*Finial*)

Untuk pemilihan bahan dan dimensi sebuah sistem terminasi udara maka digunakan perhitungan umum sebagai berikut:

##### a) Volume Pelelehan

Finial merupakan komponen proteksi petir eksternal yang berfungsi menangkap petir. Dalam setiap sambarannya petir membawa energi yang cukup besar sehingga dapat melelehkan bagian *finial* yang tersambar. Besarnya nilai energi petir ini dipengaruhi oleh nilai batas muatan yang didapatkan melalui perhitungan dari persamaan 2-4 dan 2-5.

Dari persamaan mengenai gelombang arus petir yaitu

$$i(t) = A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6}$$

Dan persamaan besarnya muatan arus petir,

$$Q = \int_0^{\infty} i(t) dt$$

Sehingga

$$Q = \int_0^{\infty} (A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6}) dt$$

Dengan:

$$\text{Konstanta } A_I = 1,0244 ;$$

$$\text{Arus puncak petir } (I_m) = 100 \text{ kA};$$

$$\text{Konstanta } a = 0,00204 ;$$

Konstanta  $b = 0,5632$  maka

$$Q = \int_0^{\infty} 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} (e^{-0,00204t} - e^{-0,5632t}) \cdot 10^{-6} dt$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{1}{-0,00204} e^{-0,00204t} - \frac{1}{-0,5632} e^{-0,5632t} \right]_0^{\infty}$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3}$$

$$\left[ \left( \frac{1}{-0,00204} e^{\infty} - \frac{1}{-0,5632} e^{\infty} \right) - \left( \frac{1}{-0,00204} e^0 - \frac{1}{-0,5632} e^0 \right) \right]$$

$$Q = 1,0244 \cdot 100 \cdot 10^{-3} \left( \frac{1}{0,00204} - \frac{1}{0,5632} \right)$$

$$Q = 50,0338 \text{ As}$$

Nilai tegangan kontak ( $U_{A,k}$ ) bekisar antara puluhan vol, jika ditentukan besarnya  $U_{A,K}$  adalah 30 V, sehingga berdasarkan persamaan 2-7 didapatkan nilai energi busur listrik (W) sebesar

$$W = Q \times U_{A,K}$$

$$W = 50,0338 \times 30$$

$$W = 1501,014 \text{ joule}$$

Bahan *finial* yang digunakan dalam perhitungan ini berupa alumunium, baja, dan tembaga, dengan parameter yang tercantum pada Tabel 2.7. Berikut ini merupakan perhitungan volume pelelehan yang terjadi akibat sambaran petir pada bahan-bahan yang telah ditentukan.

– Bahan Alumunium

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan Alumunium menggunakan persamaan 2-6,

$$Vol = \frac{W}{\gamma} \frac{1}{c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 2700 \text{ kg/m}^3;$$

$$\text{Temperatur leleh } (\theta) = 658 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\text{Panas leleh spesifik } (c_s) = 356 \cdot 10^3 \text{ J/kg dan}$$

$$\text{Kapasitas panas spesifik } (c_w) = 908 \text{ J/kg} \cdot \text{K. Sehingga:}$$

$$Vol = \frac{1501,014}{2700} \times \frac{1}{908 \times 658 + 356 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 5,83 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,583 \text{ cm}^3$$

– Bahan Besi

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan besi menggunakan persamaan

2-6,

$$Vol = \frac{W}{\gamma} \frac{1}{c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

Kerapatan massa ( $\gamma$ ) = 7700 kg/m<sup>3</sup>;

Temperatur leleh ( $\theta$ ) = 1350 °C;

Panas leleh spesifik ( $c_s$ ) = 272 · 10<sup>3</sup> J/kg dan

Kapasitas panas spesifik ( $c_w$ ) = 469 J/kg · K, sehingga:

$$Vol = \frac{1501,014}{7700} \times \frac{1}{469 \times 1350 + 272 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 2,1536 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,2154 \text{ cm}^3$$

– Bahan Tembaga

Perhitungan volume pelelehan untuk bahan besi menggunakan persamaan

2-6,

$$Vol = \frac{W}{\gamma} \frac{1}{c_w \theta + c_s}$$

Dengan:

Kerapatan massa ( $\gamma$ ) = 8920 kg/m<sup>3</sup>

Temperatur leleh ( $\theta$ ) = 1080 °C,

Panas leleh spesifik ( $c_s$ ) = 209 · 10<sup>3</sup> J/kg dan

Kapasitas panas spesifik ( $c_w$ ) = 385 J/kg · K, sehingga

$$Vol = \frac{1501,014}{8920} \times \frac{1}{385 \times 1080 + 209 \cdot 10^3}$$

$$Vol = 2,6933 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$Vol = 0,2693 \text{ cm}^3$$

Perhitungan di atas, dapat dirangkum dalam Tabel 4.3







Tabel 4.3 Parameter dan Volume Pelelehan dari Material Logam Batang *Finial*

Besaran	Alumunium	Besi	Tembaga
$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	2700	7700	8920
$\theta$ (°C)	658	1350	1080
$c_s$ (J/kg)	$356 \cdot 10^3$	$272 \cdot 10^3$	$209 \cdot 10^3$
$C_w$ (J/kg·K)	908	469	385
<b>Volume Pelelehan</b> (cm <sup>3</sup> )	<b>0,583</b>	<b>0,2154</b>	<b>0,2693</b>

Sumber : Hasil Perhitungan

Menurut PUIPP tinggi minimal dari batang *finial* adalah sebesar 0,3 meter. Dengan mempertimbangkan sisi estetika gedung, maka penggunaan batang *finial* yang disarankan sepanjang 1 meter. Dengan menggunakan batang *finial* minimal sepanjang 1 meter ini, gedung sudah cukup terlindungi dari bahaya sambaran petir. Hampir seluruh bagian gedung tidak tersentuh oleh bola gelinding, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 sebelumnya. Semakin panjang batang *finial* yang dipasang maka gedung semakin terlindungi dari bahaya sambaran petir. Dimensi minimal yang lebih terperinci untuk batang finial tidak ditentukan oleh tingkat proteksi yang digunakan, oleh karena itu dimensi minimum ini telah dtentukan IEC 62305-3 yang terdapat pada lampiran 3, Tabel L4.

Sedangkan mengenai pemilihan bahan material penyusun batang *finial*, masing-masing bahan memiliki keunggulan dan kelemahannya tersendiri. Dari Tabel 4.3 terlihat bahwa besi memiliki volume pelelehan paling kecil dan temperatur lebur yang paling tinggi dibandingkan dengan kedua logam material batang *finial* lainnya.

#### 4.4. Perancangan Sistem Penghantar Penyalur

Fungsi utama dari sistem penghantar penyalur adalah untuk menyalurkan arus petir yang ditangkap oleh sistem terminasi udara ke sistem pembumian tanpa menyebabkan kerusakan pada bangunan. Perancangan sistem penghantar peyalur meliputi tata letak dan pemilihan bahan sistem penghantar penyalur.

#### 4.4.1. Tata Letak Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Tata letak penghantar penyalur ini berdasarkan jumlah penghantar yang akan digunakan. Menurut persyaratan yang ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum (DPMB) bahwa setiap bangunan setidaknya harus memiliki dua buah penghantar penyalur. Untuk bangunan dengan lebar lebih dari 12 meter diperlukan 4 buah penghantar penyalur, dan jika panjang bangunan melebihi 20 meter diperlukan lagi tambahan sebuah penghantar setiap 20 meter berikutnya. Sehingga, dengan lebar gedung mencapai 56,72 meter, gedung membutuhkan sebanyak 6 penghantar penyalur.

Menurut IEC 62305-3, jumlah penghantar penyalur bergantung pada keliling sisi luar gedung yang diproteksi. Penyusunan penghantar harus dilakukan sedemikian rupa sehingga arus dapat terdistribusi secara seragam pada tiap salurannya. Berdasarkan Tabel 2.9 maka jarak antar penghantar untuk sistem proteksi tingkat tiga adalah sebesar 15 meter. Oleh karena itu gedung membutuhkan setidaknya 8 penghantar penyalur

Jumlah penghantar penyalur dapat dikurangi secara signifikan dengan mempertimbangkan dimensi gedung yang tidak terlalu luas. Dengan bentuk yang tidak menentu, pemasangan sistem penghantar penyalur pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis dapat dilakukan dengan menggunakan tiga buah penghantar penyalur. Sesuai dengan teori dasar mengenai gaya elektromagnetik dan dengan menggunakan jarak sambar petir yang telah diketahui sebesar 45 meter, maka gedung dapat terproteksi dengan tiga buah penghantar penyalur. Gaya elektromagnetik tersebut dapat dijelaskan melalui Gambar 4.7 dan Gambar 4.8. Penghantar penyalur mengalirkan arus dengan arah yang sama, yaitu ke sistem pembumian, sehingga arah gayanya pun juga sama.

Pada Tabel 4.4 ditunjukkan jumlah penghantar yang dibutuhkan oleh gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya.

Pada Gambar 4.9 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gambar gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Brawijaya tampak depan. Semakin sedikit sedikit penghantar yang digunakan maka akan semakin mengurangi biaya dari pemasangan sistem penghantar penyalur.

Tabel 4.4 Jumlah Penghantar Penyalur

Teori / Standar	Jumlah
Menurut DPMB	6
Menurut IEC 62305-3	8
Analisis Gaya Elektromagnetik	3

Sumber : Penulis

Jumlah penghantar penyalur yang digunakan juga mempengaruhi berapa jumlah arus yang disalurkan pada masing-masing konduktor. Sesuai dengan persamaan arus terusan pada gelombang berjalan persamaan (2-18)

$$i_t = 2 \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \cdot i_i$$

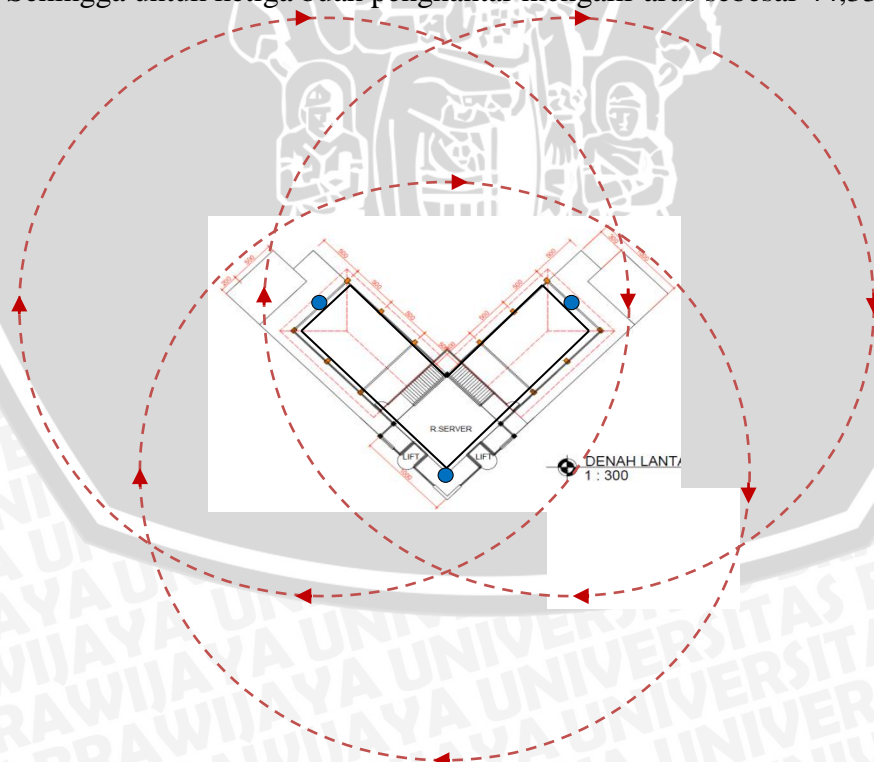
Dengan n merupakan jumlah penghantar penyalur dan  $i_i$  merupakan arus petir yang diterima maka,

- 3 penghantar penyalur

$$i_t = 2 \left( 1 - \frac{1}{3} \right) \cdot 100$$

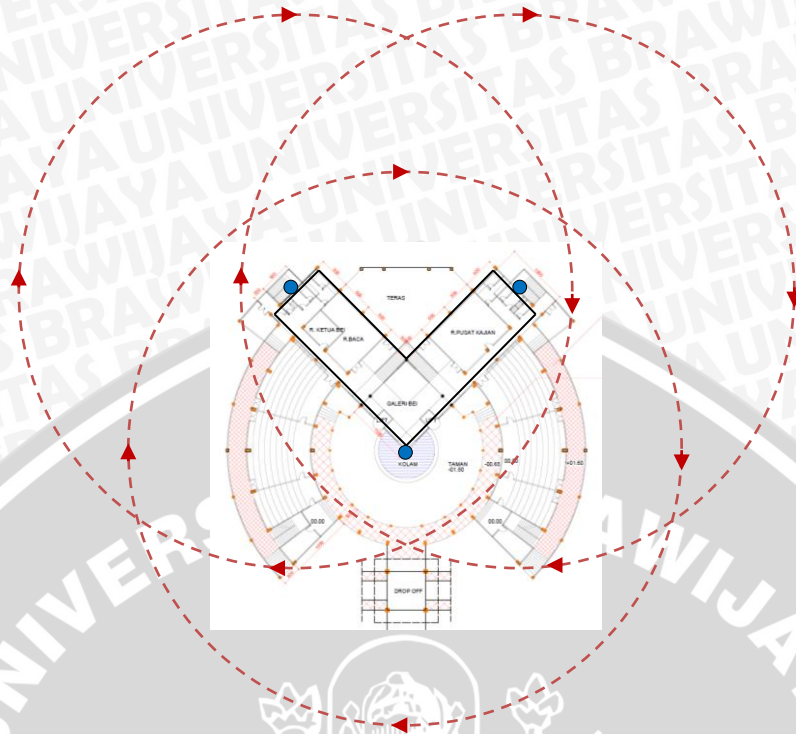
$$i_t = 133 \text{ kA} \approx 44,33 \text{ kA (tiap penghantar)}$$

Sehingga untuk ketiga buah penghantar mengalir arus sebesar 44,33 kA.



Gambar 4.7. Gaya Elektromagnetik pada Penghantar Penyalur pada Lantai 10

Sumber : Hasil Perancangan



Gambar 4.8 Gaya Elektromagnetik pada Penghantar Penyalur pada Lantai 1  
Sumber : Hasil Perancangan

- 6 penghantar penyalur

$$i_t = 2 \left(1 - \frac{1}{6}\right) \cdot 100$$

$$i_t = 166 \text{ kA} \approx 27,67 \text{ kA (tiap penghantar)}$$

- 8 penghantar penyalur

$$i_t = 2 \left(1 - \frac{1}{8}\right) \cdot 100$$

$$i_t = 175 \text{ kA} \approx 21,88 \text{ kA (tiap penghantar)}$$

#### 4.4.2. Pemilihan Bahan Penghantar Penyalur (*Down Conductor*)

Bahan yang umum digunakan sebagai penghantar adalah aluminium, baja, dan tembaga. Dari ketiga jenis penghantar tersebut, kemudian akan dilakukan perbandingan yang mana nantinya akan dipilih salah satu bahan untuk digunakan sebagai penghantar penyalur petir.

Harga  $\int i^2 dt$  sangat mempengaruhi pemanasan pada penghantar yang dilalui arus listrik. Besarnya harga  $\int i^2 dt$  ditentukan melalui perhitungan berikut:



$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I \cdot I_m (e^{-at} - e^{-bt}) \cdot 10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I^2 \cdot I_m^2 (e^{-at} - e^{-bt})^2 (10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = \int_0^{\infty} (A_I^2 \cdot I_m^2 (e^{-2at} - 2e^{-(a+b)t} + e^{-2bt}) (10^{-6})^2 dt$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = A_I^2 \cdot I_m^2 (10^{-6})^2 \left[ \frac{1}{-2a} e^{-2at} - \frac{2}{-(a+b)} e^{-(a+b)t} + \frac{1}{-2b} e^{-2bt} \right]_0^{\infty}$$

Dengan nilai  $A_I = 1,0244$ ;  $I_m = 100 \text{ kA}$ ;  $a = 0,00204$ ; dan  $b = 0,5632$ , maka

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2 \cdot (100 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2$$

$$\cdot \left[ \frac{1}{-2 \cdot 0,00204} e^{-2 \cdot 0,00204t} \right.$$

$$\left. - \frac{2}{-(0,00204 + 0,5632)} e^{-(0,00204 + 0,5632)t} \right.$$

$$\left. + \frac{1}{-2 \cdot 0,5632} e^{-2 \cdot 0,5632t} \right]_0^{\infty}$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2$$

$$\cdot (100 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2 \left[ - \left( \frac{1}{-0,00408} e^0 + \frac{2}{0,56524} e^0 \right. \right.$$

$$\left. - \frac{1}{1,1264} e^0 \right)$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 2,4165 \cdot 10^{-6} \text{ A}^2\text{s}$$

Hasil dari perhitungan di atas sesuai dengan Tabel 2.3 untuk tingkat proteksi normal. Jika digunakan arus puncak petir ( $I_m$ ) sesuai dengan besarnya arus yang diterima setiap penghantar pada sistem penghantar penyalur dengan 3 penghantar, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2 \cdot (44,33 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2 \cdot \left[ \frac{1}{-2 \cdot 0,00204} e^{-2 \cdot 0,00204t} \right.$$

$$\left. - \frac{2}{-(0,00204 + 0,5632)} e^{-(0,00204 + 0,5632)t} \right.$$

$$\left. - \frac{1}{-2 \cdot 0,5632} e^{-2 \cdot 0,5632t} \right]_0^{\infty}$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 1,0244^2 \cdot (44,33 \cdot 10^3)^2 (10^{-6})^2 \left[ -\left( \frac{1}{-0,00408} e^0 + \frac{2}{0,56524} e^0 - \frac{1}{1,1264} e^0 \right) \right]$$

$$\int_0^{\infty} i^2 dt = 0,9603 \cdot 10^{-6} \text{ A}^2\text{s}$$

Pemilihan bahan penyusun sistem penghantar penyalur dapat dilakukan berdasarkan perhitungan luas penampang, kenaikan temperatur dan perhitungan kenaikan tegangan sebagai berikut:

**a) Perhitungan Luas Penampang Penghantar**

Luas penampang penghantar dapat dihitung melalui penurunan persamaan 2-19 dengan batas kenaikan temperatur yang diijinkan ( $\theta$ ) sebesar 100 K.

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \frac{\exp(\int i^2 dt \alpha \rho)}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

$$q = \sqrt{\left[ \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{\gamma c_w} \cdot \frac{1}{\ln(\theta \alpha + 1)} \right]}$$

Besarnya luas penampang untuk masing-masing bahan penghantar, didapatkan melalui perhitungan berikut:

- Bahan Alumunium

Koefisien temperatur dari tahanan ( $\alpha$ ) =  $4 \cdot 10^{-3}$  1/K;

Resistivitas spesifik ( $\rho$ ) =  $2,9 \cdot 10^{-8}$   $\Omega\text{m}$ ;

Kerapatan massa ( $\gamma$ ) =  $2700$   $\text{kg/m}^3$ , dan

Energi panas spesifik ( $c_w$ ) =  $908$   $\text{J/kg}\cdot\text{K}$ , sehingga

$$q = \sqrt{\left[ \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{2700 \cdot 908} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 4 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 1,8434 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 18,4340 \text{ mm}^2$$

Luas penampang minimum alumunium dengan batas kenaikan temperatur sebesar 100 K adalah  $18,4340 \text{ mm}^2$ . Semakin besar luas penampangnya, maka akan semakin kecil kenaikan temperatur yang terjadi pada penghantar tersebut.

- Bahan Besi

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 12 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 7700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 469 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$q = \sqrt{\left[ \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3}}{7700 \cdot 469} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 3,2284 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 32,2840 \text{ mm}^2$$

Luas penampang minimum besi dengan batas kenaikan temperatur sebesar 100 K adalah 32,2840 mm<sup>2</sup>. Semakin besar luas penampangnya, maka akan semakin kecil kenaikan temperatur yang terjadi pada penghantar tersebut.

- Bahan Tembaga

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 1,78 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 8920 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 385 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$q = \sqrt{\left[ \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3}}{8920 \cdot 385} \cdot \frac{1}{\ln(100 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} + 1)} \right]}$$

$$q = 1,2184 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$q = 12,1840 \text{ mm}^2$$

Luas penampang minimum tembaga dengan batas kenaikan temperatur sebesar 100 K adalah 12,1840 mm<sup>2</sup>. Semakin besar luas penampangnya, maka akan semakin kecil kenaikan temperatur yang terjadi pada penghantar tersebut.

#### b) Perhitungan Kenaikan Temperatur

Kenaikan temperatur dapat dihitung melalui persamaan 2-19 dengan luas penampang sesuai dengan SNI, yaitu 50 mm<sup>2</sup>. Dengan arus puncak petir ( $I_m$ ) 100 kA, sehingga



- Bahan Aluminium

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 2700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 908 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga:}$$

$$\theta_{Al} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,9 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2700 \cdot 908} \right) - 1 \right]$$

$$\theta_{Al} = 11,6994 \text{ K}$$

- Bahan Besi

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 12 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 7700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 469 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$\theta = \frac{1}{6,5 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 7700 \cdot 469} \right) - 1 \right]$$

$$\theta = 35,7181 \text{ K}$$

- Bahan Tembaga

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 1,78 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 8920 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 385 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$\theta = \frac{1}{3,92 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{2,4165 \cdot 10^6 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot 1,78 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 8920 \cdot 385} \right) - 1 \right]$$

$$\theta = 5,0596 \text{ K}$$

Jika dilakukan perhitungan lanjutan dengan menggunakan nilai  $\int i^2 dt$  setelah dilakukan analisis gelombang berjalan pada tiap penghantar, maka kenaikan temperatur akan berkurang, seperti yang ditunjukkan pada perhitungan berikut:

- Bahan Aluminium

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 4 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 2,9 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 2700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 908 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga:}$$

$$\theta_{Al} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{0,9603 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 2,9 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2700 \cdot 908} \right) - 1 \right]$$

$$\theta_{Al} = 4,5853 \text{ K}$$

- Bahan Besi

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\text{Resistivitas spesifik } (\rho) = 12 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m;}$$

$$\text{Kerapatan massa } (\gamma) = 7700 \text{ kg/m}^3, \text{ dan}$$

$$\text{Energi panas spesifik } (c_w) = 469 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga}$$

$$\theta = \frac{1}{6,5 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{0,9603 \cdot 10^6 \cdot 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 12 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 7700 \cdot 469} \right) - 1 \right]$$

$$\theta = 13,3084 \text{ K}$$

- Bahan Tembaga

$$\theta = \frac{1}{\alpha} \left[ \exp \frac{\int i^2 dt \alpha \rho}{q^2 \gamma c_w} - 1 \right]$$

Dengan:

$$\text{Koefisien temperatur dari tahanan } (\alpha) = 3,92 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K;}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistivitas spesifik } (\rho) &= 1,78 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m}; \\ \text{Kerapatan massa } (\gamma) &= 8920 \text{ kg/m}^3, \text{ dan} \\ \text{Energi panas spesifik } (c_w) &= 385 \text{ J/kg}\cdot\text{K, sehingga} \end{aligned}$$

$$\theta = \frac{1}{3,92 \cdot 10^{-3}} \left[ \exp \left( \frac{0,9603 \cdot 10^6 \cdot 3,92 \cdot 10^{-3} \cdot 1,78 \cdot 10^{-8}}{(50 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 8920 \cdot 385} \right) - 1 \right]$$

$$\theta = 1,9987 \text{ K}$$

Dari hasil di atas, terbukti bahwa dengan menghitung arus yang mengalir pada setiap penghantar menggunakan analisis gelombang berjalan, maka kenaikan temperatur yang terjadi lebih kecil, dibandingkan dengan asumsi bahwa arus petir sepenuhnya tersalurkan dalam 1 penghantar. Kenaikan temperatur yang didapatkan dari hasil perhitungan tidak melampaui nilai batas yang diizinkan pada Tabel 2.11, sehingga system penghantar penyalur pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis dapat dipasang langsung pada struktur.

### c) **Perhitungan Kenaikan Tegangan**

Pertimbangan lain mengenai pemilihan bahan untuk penghantar penyalur adalah nilai kenaikan tegangan. Nilai kenaikan tegangan tergantung dari nilai resistivitas masing-masing bahan dan panjang dari penghantar yang digunakan. Untuk gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis, panjang penghantar terpanjang mencapai 61,6 meter dan yang terpendek 51,6 meter. Sehingga didapatkan perhitungan sebagai berikut:

- Bahan Alumunium

Penentuan kenaikan tegangan pada penghantar penyalur dinyatakan pada persamaan (2-4):

$$U_m = I_m \cdot R$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dengan:

$$\text{Luas penampang } (A) = 50 \text{ mm}^2;$$

$$\text{Panjang penghantar } (l) = 61,6 \text{ m};$$

$$\text{Resistivitas} = 2,65 \cdot 10^{-8} \Omega \text{m, maka}$$

$$R_{Al} = 2,65 \cdot 10^{-8} \frac{61,6}{50 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{Al} = 0,0326 \Omega$$

$$U_{mA1} = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,0326$$

$$U_{mA1} = 3,2600 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mA1} = 3,2600 \text{ kV}$$

Sedangkan jika arus yang mengalir pada penghantar merupakan arus terusan ( $i_1$ ) gelombang berjalan, maka kenaikan tegangan yang terjadi:

$$U_{mA1} = 44,33 \cdot 10^3 \cdot 0,0326$$

$$U_{mA1} = 1,4452 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mA1} = 1,4452 \text{ kV}$$

– Bahan Besi

Penentuan kenaikan tegangan pada penghantar penyalur dinyatakan pada persamaan (2-4):

$$U_m = I_m \cdot R$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dengan:

$$\text{Luas penampang (A)} = 50 \text{ mm}^2;$$

$$\text{Panjang penghantar (l)} = 61,6 \text{ m};$$

$$\text{Resistivitas} = 9,71 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m, maka}$$

$$R_{Fe} = 9,71 \cdot 10^{-8} \frac{61,6}{50 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{Fe} = 0,1196 \Omega$$

$$U_{mFe} = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,1196$$

$$U_{mFe} = 11,9600 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mFe} = 11,9600 \text{ kV}$$

Sedangkan jika arus yang mengalir pada penghantar merupakan arus terusan ( $i_1$ ) gelombang berjalan, maka kenaikan tegangan yang terjadi:

$$U_{mFe} = 44,33 \cdot 10^3 \cdot 0,0326$$

$$U_{mFe} = 1,4452 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mFe} = 1,4452 \text{ kV}$$

– Bahan Tembaga

Penentuan kenaikan tegangan pada penghantar penyalur dinyatakan pada persamaan (2-4):

$$\text{Tembaga memiliki nilai resistivitas sebesar } 1,68 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m}$$

$$U_m = I_m \cdot R$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Dengan:

$$\text{Luas penampang (A)} = 50 \text{ mm}^2;$$

$$\text{Panjang penghantar (l)} = 61,6 \text{ m};$$

$$\text{Resistivitas} = 1,68 \cdot 10^{-8} \Omega\text{m, maka}$$

$$R_{Cu} = 1,68 \cdot 10^{-8} \frac{61,6}{50 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_{Cu} = 0,0207 \Omega$$

$$U_{mCu} = 100 \cdot 10^3 \cdot 0,0207$$

$$U_{mCu} = 2,0700 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mCu} = 2,0700 \text{ kV}$$

Sedangkan jika arus yang mengalir pada penghantar merupakan arus terusan ( $i$ ) gelombang berjalan, maka kenaikan tegangan yang terjadi:

$$U_{mCu} = 44,33 \cdot 10^3 \cdot 0,0207$$

$$U_{mCu} = 0,9176 \cdot 10^3 \text{ V}$$

$$U_{mCu} = 0,9176 \text{ kV}$$

Berdasarkan hasil perbandingan di atas, dibandingkan dengan kedua bahan lainnya tembaga memiliki kenaikan suhu dan kenaikan tegangan yang paling rendah. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Kenaikan Temperatur dan Tegangan

Arus Petir pada penghantar	Besaran	Material Logam		
		Alumunium	Besi	Tembaga
100 kA	Kenaikan Temperatur (K)	11,6994	35,7181	5,0596
	Kenaikan Tegangan (kV)	3,2600	14,7600	2,0700
44,33 kA	Kenaikan Temperatur (K)	4,5853	13,3084	1,9987
	Kenaikan Tegangan (kV)	1,4452	5,3019	0,9176

Sumber : Hasil Perhitungan

#### 4.5. Penentuan Kebutuhan Sistem Penumian

Sistem penumian merupakan salah satu komponen penting dalam suatu sistem proteksi eksternal yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Dalam perancangan sistem penumian yang dapat digunakan pada gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis, maka dibutuhkan pengukuran nilai resistansi penumian pada lokasi pembangunan.

Sistem penumian merupakan kelanjutan dari sistem terminasi dan penghantar penyalur untuk menyalurkan arus petir ke tanah. Sangat perlu diingat bahwa sistem penumian merupakan sistem yang memiliki banyak konfigurasi dalam pengaplikasiannya. Sistem Penumian harus dihubungkan dengan batang *main equipotential bonding*.

##### 4.6.1. Data Hasil Pengukuran

Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali, dengan menggunakan satu batang elektroda dan dua batang elektroda penumian yang dihubung paralel. Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengukuran nilai resistansi penumian pada lokasi gedung akan dibangun.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Resistansi Penumian

Kedalaman (cm)	Resistansi Penumian ( $\Omega$ )	
	1 Elektroda	2 Elektroda
10	180	66
20	110	42
30	82	26
40	77	22,5
50	44	18
60	34	14
70	32	12
80	32	10
90	25	8
100	21	7,3

Sumber : Hasil Pengukuran

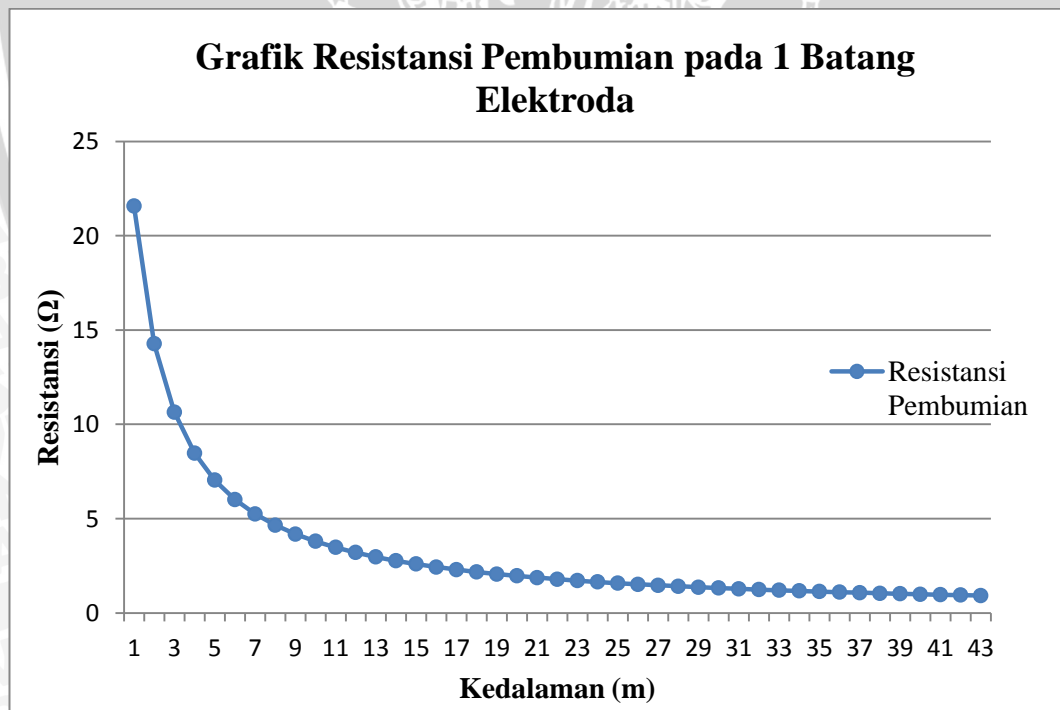
#### 4.6.2. Analisis Data Hasil Pengukuran

Pada Tabel 4.4 diketahui bahwa semakin dalam penanaman batang elektroda, maka nilai resistansi pembumiannya akan semakin kecil. Dengan menggunakan dua batang elektroda yang dihubungkan secara paralel, semakin kecil pula nilai resistansinya. Nilai resistansi pembumian sangat dipengaruhi oleh kedalaman penanaman elektroda tersebut serta jumlah elektroda yang digunakan.

Dari hasil pengukuran di atas, maka akan didapat sebuah tren data yang ditunjukkan dalam sebuah grafik pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Pada Gambar 4.10 dengan menggunakan satu batang elektroda, dapat diperoleh nilai tahanan pembumian kurang dari  $1 \Omega$  pada kedalaman 20,5 meter. Pada Gambar 4.11 dengan menggunakan dua batang elektroda dapat diperoleh nilai tahanan pembumian kurang dari  $1 \Omega$  pada kedalaman 9 meter.

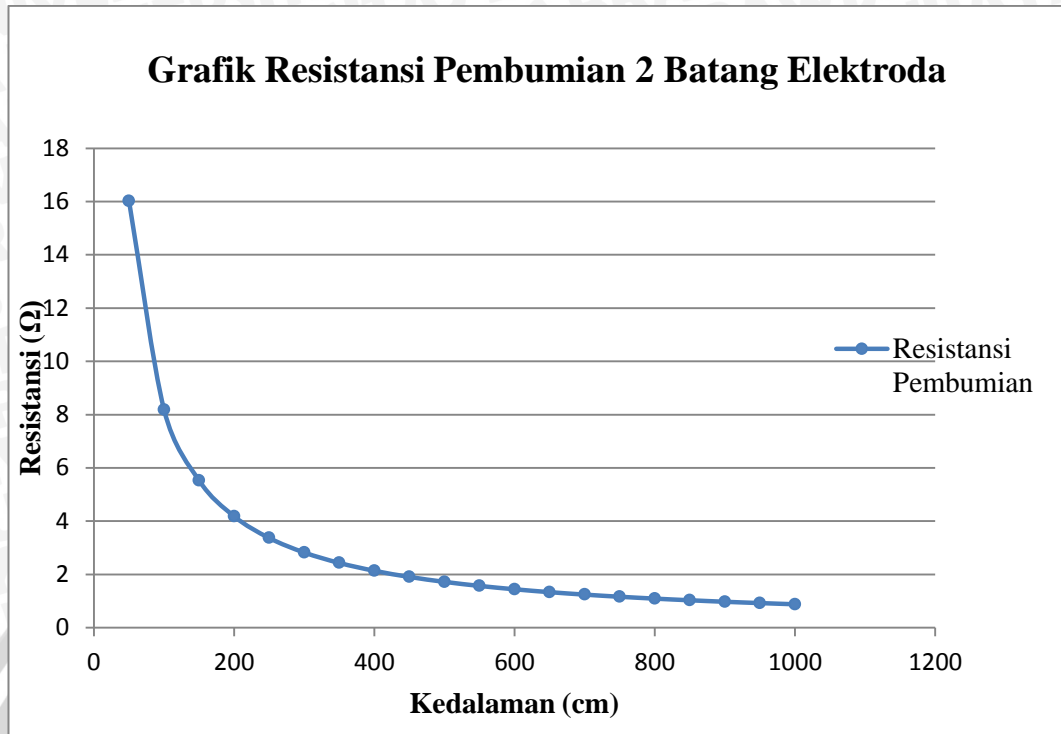
Dari hasil pengukuran juga dapat diketahui nilai resistivitas tanah untuk mengetahui jenis tanah yang terdapat pada lokasi pembangunan. Dengan menggunakan persamaan (2-21) maka:

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



Gambar 4.10 Grafik Resistansi Pembumian Satu Batang Elektroda

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.11 Grafik Resistansi Pembumian Satu Batang Elektroda

Sumber : Hasil Perhitungan

Pada kedalam 50 cm dengan 1 batang elektroda didapatkan tahanan pembumian sebesar 44 Ω, sehingga

$$44 = \frac{\rho}{2\pi \cdot 0,5} \left( \ln \frac{4 \cdot 0,5}{8 \cdot 10^{-3}} - 1 \right)$$

$$\rho = 30 \Omega\text{m}$$

$$\rho = 3000 \Omega\text{cm}$$

Sesuai dengan Tabel 2.14 maka jenis tanah pada lokasi pembangunan gedung utama Fakultas Ekonomi dan Bisnis adalah kombinasi antara tanah liat dan tanah kebun.