

**PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL PADA
GEDUNG KAWASAN TERPADU BLIMBING KOTA MALANG**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

NAFIK AINUR ROHMAN

NIM. 0910633062

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2016

LEMBAR PERSETUJUAN

PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL PADA GEDUNG KAWASAN TERPADU BLIMBING KOTA MALANG

MAKALAH SEMINAR HASIL KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

NAFIK AINUR ROHMAN

NIM. 0910633062

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT
NIP. 19600701 199002 1 001

Soemarwanto, Ir., MT.
NIP. 19500715 198003 1 002

PERANCANGAN SISTEM PROTEKSI PETIR EKSTERNAL PADA GEDUNG KAWASAN TERPADU BLIMBING KOTA MALANG

Nafik Ainur Rohman¹, Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.², Soemarwanto, Ir., MT.³
¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya
Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia
E-mail: ¹nafik.rahman@gmail.com

ABSTRAK

Sketsa ini berisi mengenai perancangan sistem proteksi petir eksternal yang dibutuhkan pada gedung kawasan terpadu blimbing kota malang. Pada perancangan ini dilakukan pengambilan data mengenai hari guruh Kota malang yang digunakan untuk menentukan efisiensi proteksi petir. Sesuai dengan perhitungan, gedung ini setidaknya membutuhkan sistem proteksi petir dengan efisiensi 89,1% yang berarti bahwa sistem ini memroteksi 89,1% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang. Berdasarkan analisis menggunakan metode bola gelinding pada gedung tersebut, maka terbentuk daerah lindung serta bagian-bagian gedung yang memungkinkan untuk terjadinya sambaran petir. Pada perancangan sistem proteksi petir ini dibagi menjadi tiga tahapan yaitu perancangan sistem terminasi udara(finial), perancangan sistem penghantar penyalur dan perancangan pbumian. Pada perancangan sistem proteksi eksternal ini, sistem terminasi udara yang dibutuhkan oleh gedung, sesuai dengan karakteristik bangunan dan klasifikasinya, sebanyak 65 batang finial dengan tinggi 2 meter dan 3 batang finial dengan tinggi 5 meter. Sistem penghantar penyalur yang dibutuhkan sebanyak 39 buah penghantar. Sedangkan sistem pbumian yang dibutuhkan untuk gedung ini sebanyak 39 buah pbumian dan untuk mendapatkan tahanan pbumian kurang dari 1 ohm tiap-tiap pbumian tersusun atas 2 batang elektroda yang dipasang secara vertikal dengan panjang paling tidak 14,8 meter. Perancangan sistem proteksi eksternal ini mampu melindungi gedung dari 91% sambaran petir ke tanah.

Kata kunci: petir, sistem proteksi petir eksternal.

I. PENDAHULUAN

Dibandingkan beberapa negara lain, Indonesia memiliki hari guruh yang cukup tinggi. Berdasarkan data Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Indonesia, hari guruh tersebut berkisar antara 100-200 hari per tahun sedangkan hari guruh maksimum di beberapa negara yakni Eropa sebanyak 30 hari guruh, Amerika 100 hari guruh, Jepang 80 hari guruh, dan Korea 80 hari guruh. Hal itu disebabkan karena Indonesia dilalui garis khatulistiwa yang menyebabkan Indonesia beriklim tropis, sehingga Indonesia memiliki hari guruh rata-rata pertahun sangat tinggi dibandingkan negara-negara lainnya. Dengan demikian hal ini akan memungkinkan banyak terjadinya bahaya sambaran petir terlebih terhadap bangunan pencakar langit.

Petir sendiri merupakan fenomena alam yang mengandung muatan listrik dengan arus dan tegangan yang sangat besar dalam orde waktu yang sangat singkat. Ketika petir menyambar disalurkan tegangan rendah yang dekat dengan transmisi di bangunan, maka transien tegangan dan arus yang diakibatkan petir akan berdampak negatif pada sistem kelistrikan di bangunan tersebut. Ada 2 macam sambaran petir yaitu sambaran langsung dan sambaran tak langsung. Pada sambaran langsung petir menyambar tepat pada sistem kelistrikan, sedangkan pada sambaran tak langsung kanal petir akan menginduksi transmisi atau peralatan elektronika. Untuk melindungi dan mengurangi dampak sambaran petir tersebut maka

diperlukan suatu sistem proteksi pada bangunan tersebut.

Sistem proteksi petir dapat dibagi menjadi dua, yaitu sistem proteksi petir eksternal dan sistem proteksi petir internal. Sistem proteksi petir eksternal adalah sistem instalasi dan alat-alat di luar sebuah struktur yang berfungsi pertama kali menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan. Proteksi eksternal yang baik terdiri atas air terminal interceptor, down conductor, dan earthing system.

Setelah bertahun-tahun pasar Blimbing Kota Malang Jawa Timur menjadi tempat para penjual menjajakan dagangannya, pada tahun 2013 telah direncanakan pembangunan gedung kawasan pasar terpadu Blimbing dimana gedung itu akan dibangun diatas tanah seluas $\pm 3385,2 m^2$ dimana gedung tertinggi akan memiliki lima belas lantai dengan tinggi 58 m, perencanaan struktur zona gedung Gedung dibagi menjadi Trade Center (lantai 1-5 dan Apartemen (lantai 6-15), Gedung Condotel 15 lantai, Gedung Trade Center 5 lantai (lantai 1-3 ruko, lantai 3-5 Trade Center), Gedung Pasar Tradisional Utara (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir) dan Gedung Pasar Tradisional Selatan (lantai 1-2 pasar tradisional, lantai 3-5 parkir) (sumber: unit usaha dan kerjasama bidang penelitian dan pengabdian kepada masyarakat fakultas teknik universitas brawijaya malang). Mengingat tingginya hari guruh di Indonesia dan tingginya bangunan yang sebanding lurus dengan probabilitas terjadinya sambaran petir, maka

diperlukan suatu sistem proteksi petir untuk meminimalisir bahkan meniadakan dampak sambaran petir..

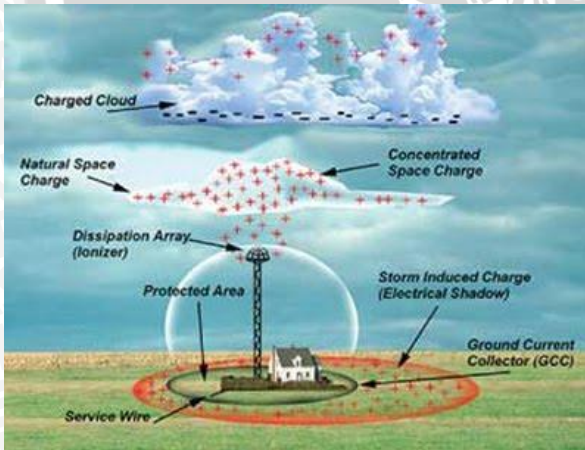
Penentuan daerah lindung dan jarak sambar ditentukan berdasarkan tingkat proteksi. Daerah lindung akan dianalisis menggunakan pendekatan metode bola gelinding (rolling sphere methode) dengan jari-jari bola gelinding sama dengan panjang jarak sambar. Tingkat proteksi ditentukan berdasarkan sifat dan fungsi bangunan gedung yang mengacu pada SNI 03-7015-2004. Selanjutnya tingkat proteksi ini digunakan untuk menentukan kebutuhan proteksi eksternal, yaitu kebutuhan terminasi udara (finial) dan sangkar faraday, dimensi dan tata letak penghantar penyalur arus petir, dan menentukan kebutuhan pembumian.

Tujuan dari pembahasan dalam penelitian ini adalah menganalisis daerah lindung pada gedung dan kebutuhan sistem proteksi petir eksternal yang sesuai dengan tingkat proteksinya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Petir

Petir, kilat, atau halilintar adalah gejala alam yang biasanya muncul pada musim hujan yaitu proses pelepasan muatan antara awan bermuatan dengan bumi atau dengan awan bermuatan lainnya. Dengan adanya awan yang bermuatan pada permukaan bumi ini sehingga menimbulkan medan listrik antara awan dengan bumi. Proses terjadinya petir ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses Terjadinya Petir

2.2. Kerapatan Sambaran Petir dan Hari Guruh

Kerapatan sambaran petir didefinisikan sebagai jumlah sambaran petir pada suatu daerah dalam satu tahun. Kerapatan sambaran petir (N_g) suatu wilayah dapat diestimasi dengan menghitung jumlah sambaran petir pada wilayah tersebut melalui satelit ataupun alat penghitung sambaran petir. Sedangkan hari guruh adalah banyaknya hari di mana terdengar guruh setidaknya satu kali dalam waktu 24 jam. Data hari guruh tidak mencakup data mengenai jumlah sambaran petir dalam satu hari

Kerapatan sambaran petir dapat dihitung menggunakan data hari guruh sebagai berikut:

$$N_g = 0,04 T_d^{1,25} \text{ sambaran/km}^2 \text{ tahun} \quad (2-1)$$

Dengan T_d adalah jumlah hari guruh per tahun.

2.3. Parameter Petir

Setiap sambaran petir dapat diuraikan secara matematis kelistrikan. Hal tersebut diperlukan guna mengetahui sejauh mana akibat pada objek sambaran yang ditimbulkan masing-masing parameter tersebut dan untuk menentukan level proteksi yang harus didesain. Berikut ini merupakan parameter-parameter petir yang sangat penting dalam penentuan sistem proteksi petir.

2.3.1. Arus Puncak Petir (I_m)

Arus puncak petir (I_m) merupakan nilai maksimum arus impuls petir yang dapat menyebabkan tegangan lebih pada tempat sambaran. Arus puncak petir menentukan tinggi tegangan jatuh pada tahanan pentanahan objek yang disambar sesuai dengan persamaan:

$$U_m = I_m \cdot R_E \quad (2-2)$$

Dengan :

U_m : tegangan (volt)

I_m : arus puncak petir (ampere)

R_E : tahanan tanah (Ω)

2.3.2. Muatan Petir (Q)

Muatan arus petir (Q) adalah jumlah muatan arus petir yang mengalir atau integral arus petir terhadap waktu. Muatan ini menyebabkan terjadinya pelelehan ujung finial penangkap petir, kulit aluminium pesawat terbang, atau logam yang digunakan sebagai titik sambaran petir. Muatan arus petir dapat dinyatakan dalam persamaan

$$Q = \int_0^t i dt \text{ As atau Culomb} \quad (2-3)$$

Volume pelelehan logam yang disebabkan muatan arus petir dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Vol = \frac{W}{\gamma c_w \theta + c_s} (m^3) \quad (2-4)$$

Dengan :

W : energi busur listrik (J)

θ : temperatur leleh ($^{\circ}C$)

c_s : panas leleh spesifik (J/kg)

c_w : kapasitas tanah spesifik (J/kg)

γ : kerapatan massa (kg/m³)

2.3.3. Arus Kuadrat Impuls atau Energi Spesifik

Arus kuadrat impuls adalah suatu aksi integral yang bertanggung jawab terhadap efek pemanasan dan elektro-mekanis. Kuadrat impuls menentukan tingginya pemanasan dan tekanan elektrodinamis pada konduktor yang dialiri arus petir. Besarnya energi pemanasan dapat ditunjukkan pada persamaan:

$$E = \int_0^t i^2 dt \quad (2-5)$$

2.3.4. Kecuraman Arus Petir

Kecuraman arus petir maksimum menyebabkan timbulnya induksi elektromagnetik pada loop yang

terdapat di dalam suatu instalasi atau konstruksi yang tertutup atau yang terletak di dekat konduktor yang dialiri arus. Pengaruh parameter ini dapat menyebabkan adanya tegangan induksi elektromagnetik pada benda logam di dekat instalasi proteksi petir. Parameter ini digunakan berkaitan dengan penentuan dimensi konduktor pengamanan. Besarnya tegangan induksi yang timbul dapat dinyatakan dalam persamaan

$$U_m = M \left(\frac{di}{dt} \right) \quad (2-6)$$

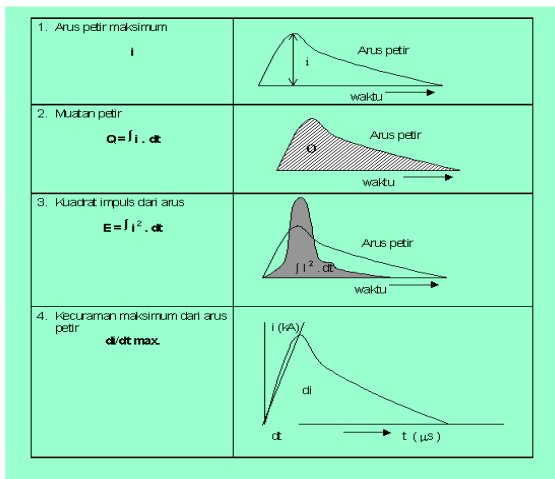
Dengan:

- U_m : Tegangan Induksi (V)
- M : Induktansi pada loop (H)
- di/dt : Kenaikan arus (A/s)

2.4. Sistem Proteksi Petir

Mengacu pada IEC TC 81/1989 tentang konsep Lightning Protection Zone (LPZ), sistem proteksi petir yang sempurna terdiri dari tiga (3) bagian yang ditunjukkan pada Gambar 2.82, yaitu:

- a. Proteksi Eksternal, yaitu instalasi dan alat-alat di luar sebuah struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan, atau berfungsi sebagai ujung tombak penangkap arus petir di tempat tertinggi. Proteksi eksternal yang baik terdiri dari terminasi udara (*finial*), penghantar penyalur (*down conductor*) dan ekuipotensial.
- b. Proteksi Pentanahan, merupakan bagian terpenting dalam instalasi sistem proteksi petir. Kesulitan dari sistem pentanahan biasanya disebabkan berbagai macam jenis tanah.
- c. Proteksi Internal, merupakan proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Proteksi internal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap sambaran tidak langsung, dan ekuipotensial.



Gambar 2.2. Parameter-parameter petir

2.5. Sistem Proteksi Petir pada Bangunan

Salah satu sistem pengamanan yang dibutuhkan oleh suatu bangunan atau gedung adalah sistem proteksi petir. Besarnya kebutuhan suatu bangunan

akan suatu instalasi proteksi petir ditentukan oleh besarnya kemungkinan kerusakan serta bahaya yang terjadi jika bangunan tersebut terkena sambaran petir. Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan dirumuskan sebagai:

$$R = A + B + C + D + E \quad (2-7)$$

Untuk keperluan perhitungan yang lebih terperinci maka dapat digunakan standar IEC 1024-1-1. Kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah suatu struktur berada telah dinyatakan sebagai berikut

$$N_d = N_g \cdot A_e \cdot C_d \cdot 10^6 \text{ per tahun} \quad (2-8)$$

Dengan:

- A_e : Luas daerah proteksi efektif pada gedung (m^2)
- N_g : Kerapatan sambaran petir pada gedung (sambaran/ km^2 tahun)
- C_d : Faktor *site*

Sedangkan perhitungan nilai A_e untuk gedung yang berbentuk seragam dapat dilakukan melalui persamaan berikut:

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

Dengan:

- a : panjang atap gedung (m)
- b : Lebar atap gedung (m)
- h : Tinggi gedung (m) pada tanah datar

Sedangkan untuk bangunan yang berbentuk kompleks sebuah persamaan dapat digunakan untuk mendapatkan nilai yang mendekati antara nilai A_{emin} dan A_{emax} sebagaimana berikut:

$$A_e = 9\pi (H_p)^2 \quad (2-12)$$

Dengan:

- A_e : Luas daerah ekuivalen rata-rata
- H_p : Tinggi gedung maksimum

Pengambilan keputusan perlu atau tidaknya memasang sistem proteksi petir pada bangunan berdasarkan perhitungan N_d dan N_c dilakukan sebagai berikut:

- a. Jika $N_d \leq N_c$ maka tidak dibutuhkan sistem proteksi petir.
- b. Jika $N_d > N_c$ maka diperlukan sistem proteksi dengan efisiensi yang ditunjukkan pada persamaan berikut

$$E \geq 1 - N_c/N_d \quad (2-13)$$

Sesuai dengan standar IEC, tingkat proteksi dibagi ke dalam empat tingkat yaitu tingkat I, II, III, dan IV yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Efisiensi Sistem Proteksi Petir

Tingkat Proteksi	Efisiensi SPP
I	0,99
II	0,97
III	0,91
IV	0,84

2.6. Penentuan Daerah Lindung dengan Metode Bola Gelinding

Daerah lindung ditentukan oleh jarak sambar yang terkait dengan nilai puncak arus petir. Jarak sambar adalah jarak sambaran petir terhadap suatu Objek. Hubungan antara jarak sambar dan arus puncak petir dapat dinyatakan dalam persamaan:

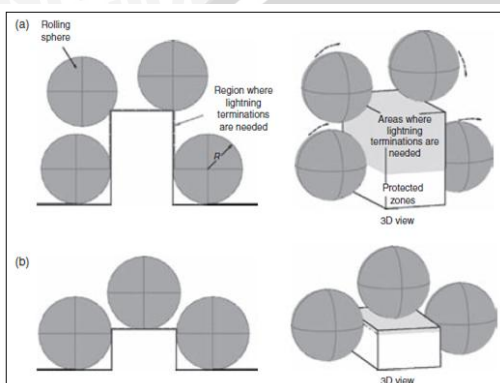
$$h_B = 2I_m + 30\left(1 - e^{-\frac{I_m}{6.8}}\right) \quad (2-18)$$

Dengan :

h_B : jarak sambar (meter)

I_m : arus puncak petir (kA)

Hubungan ini memperlihatkan bahwa petir dengan arus puncak yang kecil memiliki jarak sambar yang pendek.



Gambar 2.3 Proteksi Gedung Menggunakan Metode Bola Gelinding

2.7. Komponen Sistem Proteksi Eksternal

2.7.1 Sistem Terminasi Udara (Air-Termination System)

Sistem terminasi udara adalah bagian pertama dari Sistem Proteksi Petir eksternal yang bertujuan untuk menangkap petir. Sistem terminasi udara harus dipasang pada titik tertinggi dari suatu bangunan atau peralatan yang ingin dilindungi dari sambaran petir. *Finial* adalah penangkap petir berupa batang pendek yang dipasang pada atap bangunan.

(a) Peletakan Sistem Terminasi Udara pada Bangunan

Sistem terminasi udara dapat disusun dari kombinasi beberapa batang vertikal, *catenary wires*, dan konduktor horizontal atau *mesh*. Batang-batang konduktor ini saling dihubungkan di atap bangunan untuk memastikan adanya pembagian arus. Komponen terminasi udara yang dipasang pada sebuah bangunan dapat diletakkan pada ujung ataupun di beberapa tempat yang langsung terekspose.

(b) Konstruksi Sistem Terminasi Udara

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 Sistem Proteksi Petir sebaiknya terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi seperti tembaga aluminium, inox dan baja galvanis. Bahan batang dan kawat terminasi udara seharusnya bersesuaian secara elektrokimia dengan bahan dengan bahan elemen penyambung dan lemen pemegang, dan seharusnya mempunyai sifat tahan

terhadap korosi atmosfer atau kelembaba. Sambungan antara bahan yang berbeda harus sebaiknya dihindarkan, atau harus dilindungi. Berikut adalah tabel bahan sistem proteksi petir berdasarkan kondisi penggunaan:

Tabel 2.2 Bahan Sistem Proteksi Petir dan Kondisi Penggunaan

Bahan	Penggunaan		
	Dalam udara terbuka	Dalam tanah	Dalam beton
Tembaga	Padat Berserabut Sebagai pelapisan	Padat Berserabut Sebagai pelapisan	-
Baja galvanis panas	Padat Berserabut	Padat	Padat
Stainless steel	Padat Stranded	Padat	-
Aluminium	Padat Berserabut	-	-
Lead	Padat Sebagai pelapisan	Padat Sebagai pelapisan	-

2.7.2 Sistem Penghantar Penyalur (Down Conductor System)

Down conductor adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang menghantarkan arus petir dari sistem terminasi udara menuju sistem pembumian. Penghantar penyalur ini harus dipasang vertikal sehingga tercipta jarak terpendek antara ujung bangunan dengan bumi. Berikut ini merupakan tabel dimensi Minimum penghantar penyalur menurut material penyusunnya berdasarkan dan tebal minimum lempengan logam atau pipa pada sistem terminasi udara SNI 03-7015-2004. Berikut adalah tabel dimensi minimum berdasarkan SNI 03-7015-2004

Tabel 2.3 Dimensi minimum down conductor

Tingkat proteksi	Bahan	Terminasi-udara (mm ²)	Konduktor penyalur (mm ²)	Terminasi-bumi (mm ²)
I sampai IV	Cu	35	16	50
	Al	70	25	-
	Fe	50	50	80

Tabel 2.4 Tabel minimum lempengan logam pada sistem terminasi udara

Tingkat proteksi	Bahan	Ketebalan t (mm)
I sampai IV	Fe	4
	Cu	5
	Al	7

a) Penempatan penghantar penyalur pada bangunan

Pemilihan jumlah dan penempatan penghantar penyalur harus mempertimbangkan fakta bahwa arus petir dapat terbagi dalam beberapa penghantar penyalur sehingga resiko sambaran samping (*side flashes*) dan gangguan elektromagnetik dapat berkurang. Penghantar penyalur seharusnya dipasang seragam dengan susunan simetris sepanjang keliling bangunan. Pembagian arus dapat ditingkatkan tidak

hanya dengan menambah jumlah penghantar penyalur tetapi juga dengan menambahkan cincin interkoneksi ekuipotensial. Penghantar penyalur harus diletakkan sejauh mungkin dari rangkaian internal dan bagian-bagian metal dengan tujuan untuk menghindari dibutuhkannya equipotential bonding dengan sistem proteksi petir.

Jarak antar penghantar penyalur tidak boleh melebihi 10 m pada tingkat proteksi I. Hubungan lateral setiap penghantar tidak hanya dipasang pada bagian atas maupun bawah bangunan saja, tetapi untuk setiap tinggi 10 - 20 meter harus dipasang penghubung lateral antar penghantar sesuai dengan tabel 2.5 berikut:

Tabel 2.5 Nilai tipikal jarak antar penghantar penyalur dan antar cincin penghantar sesuai dengan tingkat proteksi

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

2.8.1. Sistem Pentanahan (*Grounding*)

Sistem pentanahan adalah bagian dari sistem proteksi eksternal yang berfungsi untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Selain itu terdapat beberapa fungsi lain yaitu untuk mendisipasi energi petir ke dalam tanah, jalur resistansi rendah ke tanah, memberikan jalur pada arus gangguan, mengurangi noise dalam rangkaian sinyal dan rangkaian kontrol, dan sebagai potensial acuan. Ujung penghantar penyalur dihubungkan dengan tahanan pbumian. Untuk mendapatkan tahanan pbumian yang kecil, diperlukan elektroda pbumian. Prinsip dasar untuk memperoleh tahanan pbumian yang kecil adalah dengan membuat permukaan elektroda bersentuhan dengan tanah sebesar mungkin. Sesuai dengan persamaan berikut:

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

Dengan :

R: resistansi pbumiaan (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ωm)

L : panjang lintasan arus di tanah (m)

A : luas penampang lintasan arus di tanah (m^2)

Pada awalnya sistem pbumian dilakukan dengan melakukan pemasangan batang-batang elektroda pbumian yang ditanam secara tegak lurus dalam tanah. Jika tahanan pbumian masih terlalu tinggi, maka perlu adanya penambahan elektroda pbumian yang berfungsi untuk menurunkan tahanannya. Cara yang dilakukan dengan menanam batang-batang elektroda tegak lurus kedalam tanah ini lazim disebut pbumian batang atau pbumian rod.

a. Pbumian Batang Vertikal

Tujuan dari pbumian batang vertikal adalah untuk memperoleh tahanan tanah yang rendah

sehingga dapat memungkinkan arus gangguan yang terjadi dengan cepat dapat terdistribusi ke tanah. Jika dengan 1 batang elektroda pbumian vertikal masih diperoleh tahanan tanah yang tinggi maka dapat dilakukan dengan cara menggunakan beberapa batang elektroda pbumian vertikal sehingga diperoleh tahanan tanah yang rendah dan diharapkan distribusi tegangan yang terjadi lebih merata.

b. Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pbumian dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ . Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

- Jenis tanah
- Lapisan tanah
- Kelembaban tanah
- Temperatur

Beberapa tahanan jenis dari berbagai unsur tanah ditunjukkan pada Tabel 2.6 di bawah ini :

Tabel 2.6 Harga Tahanan Jenis Beberapa Unsur Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis ($\Omega.cm$)
Tanah liat, tanah kebun	500-5.000
Tanah liat	800-5.000
Campuran tanah liat, pasir dan kerikil	4000-25.000
Pasir dan kerikil	6000-10.000
Batu tulis, pasir berbatu, dll	1.000-50.000
Batu kerang	20.000-1.000.000

Tahanan pbumian atau resistansi pbumian dari satu batang elektroda dapat dihitung melalui persamaan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \quad (2-23)$$

Dengan:

R : tahanan pbumian satu batang elektroda (Ω)

ρ : tahanan jenis tanah (Ωm)

L : panjang elektroda pbumian (m)

a : jari-jari elektroda pbumian (m)

3 METODOLOGI PENELITIAN

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data primer dan data sekunder, dan studi literatur. Data primer yang dibutuhkan adalah nilai resistansi pentanahan pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang dan Data sekunder yang dibutuhkan dalam perancangan ini adalah data fisik gedung kawasan terpadu blimbing kota malang serta data hari guruh kota malang

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Tingkat Proteksi

Dari data hari guruh yang telah didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika karangkates malang yang ditunjukkan pada tabel 4.1 dan data fisik pada gedung kawasan terpadu blimbing kota yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dapat ditentukan

penentuan kebutuhan Proteksi Petir dengan meninjau dari Peraturan Umum Instalasi Penangkal petir (PUIPP).

Tabel 4.1 Data hari guruh Kota Malang tahun 2013

Bulan	Jumlah Hari Guruh
Januari	18
Februari	18
Maret	13
April	15
Mei	13
Juni	15
Juli	6
Agustus	0
September	0
Oktober	5
November	15
Desember	17
Total	135

Tabel 4.2 Tabel karakteristik gedung kawasan terpadu blimbing Kota Malang

Karakteristik	Ukuran
Tinggi Gedung	59,50 meter
Panjang Gedung	199,55 meter
Lebar Gedung	159,9 meter
Sifat bangunan	Penting
Karakteristik material	Beton bertulang dengan kerangka besi dan bagian atap bukan logam merupakan

4.1.1. Penentuan Kebutuhan Proteksi Gedung

Sesuai dengan kondisi dan keadaan Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang, maka sesuai dengan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) maka dapat dijelaskan, bahwa:

- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang adalah sebuah sarana umum yang didalamnya terdapat banyak orang sehingga berdasarkan tabel 2.4 memiliki nilai indeks A sebesar 3 poin
- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki konstruksi beton bertulang, kerangka besi dan atap bukan logam sehingga berdasarkan tabel 2.5 memiliki nilai indeks B sebesar 2 poin
- Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki tinggi hingga 59,50 meter sehingga berdasarkan tabel 2.6 memiliki nilai indeks C sebesar 6 poin
- Berhubung kota malang memiliki ketinggian 1150 meter dari permukaann laut maka Gedung

Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang berdasarkan memiliki nilai indeks D sebesar 2 poin - Sesuai data dari Stasiun Geofisika Kelas III Karang Kates, Kota Malang memiliki 135 hari guruh pada tahun 2013. Maka Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang memiliki nilai Indeks E sebesar 7 poin

Berdasarkan point-point yang sudah dijelaskan di atas maka akan didapat parameter klasifikasi tingkat proteksi dengan menjumlahkan point-point tersebut yang dirumuskan dengan

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

Dengan nilai $A=3, B=2, C=6, D=2, E=7$

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

$$R = 20$$

Dari data tersebut dan mininjau dari Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) tabel 2.9 tentang perkiraan bahaya sambaran petir maka dapat dijelaskan, bahwa Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang “sangat memerlukan sebuah sistem proteksi petir”.

4.1.2. Penentuan Efisiensi Sistem Proteksi Petir Eksternal dan Klasifikasi Level Proteksi Gedung

Penentuan Efisiensi sistem proteksi petir eksternal dapat diperoleh dari beberapa parameter, yaitu perhitungan kerapatan sambaran petir (N_g), luas daerah proteksi efektif (A_e), dan kerapatan sambaran petir tahunan (N_d).

a. Kerapatan Sambaran Petir (N_g)

Kerapatan sambaran petir pada Gedung Kawasan terpadu Blimbing Kota malang dapat diestimasikan dengan menghitung jumlah sambaran petir pada kawasan tersebut atau juga dapat dirumuskan dengan persamaan (2-2). Dalam hal ini Nilai dari kerapatan sambaran petir pada gedung kawasan terpadu belimbing kota malang adalah:

$$N_g = 0,04T_d^{1,25} \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

Dimana T_d adalah hari guruh kota malang pada tahun 2013, jadi:

$$N_g = 0,04 \cdot 135^{1,25} \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

$$N_g = 18,407 \text{ (sambaran km}^{-2} \text{ tahun}^{-1}\text{)}$$

b. Luas Daerah Proteksi Efektif (A_e)

Gedung Kawasan Terpadu Blimbing kota Malang termasuk gedung yang luas dan berbentuk kompleks oleh karena itu dalam perhitungan perancangan gedung dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Nilai $A_{e,max}$ dan $A_{e,min}$ gedung dapat dihitung melalui persamaan:

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

Dengan:

$$\text{Panjang (a) gedung} = 199,55 \text{ meter}$$

$$\text{Lebar (b) gedung} = 159,9 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi (h}_{max}\text{) gedung max} = 59,50 \text{ meter}$$

$$\text{Tinggi (h}_{min}\text{) gedung min} = 17,50 \text{ meter}$$

Sehingga jika nilai h_{max} , maka diperoleh:

$$A_{emax} = 199,55 \cdot 159,9 + 6 \cdot 59,50(199,55 + 159,90) + 9\pi \cdot 59,50^2$$

$$A_{emax} = 260329,9055 \text{ m}^2$$

Sedangkan jika nilai $h_{min} = 17,50$ meter, diperoleh:

$$A_{emin} = 199,55 \cdot 159,9 + 6 \cdot 17,50(199,55 + 159,90) + 9\pi \cdot 17,50^2$$

$$A_{emin} = 78309,30975 \text{ m}^2$$

Karena Melihat A_{emax} dan A_{emin} memiliki selisih nilai yang sangat besar maka untuk mendekati nilai A_{emax} dan A_{emin} digunakan persamaan.

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

Dengan H_p adalah tinggi maksimum maka didapatkan:

$$A_e' = 9\pi(59,50)^2$$

$$A_e' = 100098,2105 \text{ m}^2$$

c. Kerapatan Sambaran Petir Tahunan (N_d)

Berdasarkan standar IEC 1024-1-1, pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan untuk struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) yang diperbolehkan. Kerapatan sambaran petir ke tanah rata-rata tahunan di daerah suatu struktur berada telah dinyatakan sebagai berikut (SNI 03-7015-2004:8)

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

$$N_d = 18,407 \cdot 100098,2105 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}$$

$$N_d = 0,921 \text{ sambaran / km}^2 / \text{tahun}$$

Berdasarkan data dari Stasiun Meteorologi dan Geofisika Kota Malang diperoleh nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c) sebesar 10^{-1} sambaran/ km²/tahun. Dari data tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai N_d Gedung kawasan terpadu blimbing kota lebih besar dari pada nilai N_c sehingga diperlukannya sebuah sistem proteksi yang sesuai dengan kondisi bangunan. Efisiensi dari gedung tersebut dapat ditentukan menggunakan persamaan

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

$$E \geq 1 - 0,1/0,921$$

$$E \geq 0,891$$

Berdasarkan standar IEC 62305-3, nilai efisien sistem proteksi berkaitan dengan tingkat yang digunakan pada gedung tersebut. Sesuai dengan **tabel 2.10** maka tingkat proteksi minimal yang dianjurkan untuk gedung kawasan terpadu blimbing kota malang adalah tingkat III yaitu sebesar 91% yang berarti bahwa sistem ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke tanah sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang.

4.2. Perancangan Sistem Proteksi Menggunakan Metode Bola gelinding

Untuk menentukan daerah lindung pada skripsi digunakan metode bola glinding (Rolling Sphere Method) dimana prinsipnya adalah dengan

mengelindingkan bola dengan jari-jari tertentu melewati gedung/objek untuk mengetahui titik sambaran dan daerah lindung yang terbentuk. Pada metode ini meliputi perhitungan jarak sambar petir dan daerah lindung yang terbentuk pada gedung.

4.2.1. Perhitungan Jarak Sambar Petir

Jarak sambar petir pada petir pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

Dimana I_m adalah arus puncak petir yang disesuaikan dengan tingkat proteksi gedung yang telah ditentukan sebelumnya. pada gedung kawasan terpadu blimbing kota malang yang memiliki tingkat proteksi petir level III maka I_m yang dipakai adalah 10 kA.

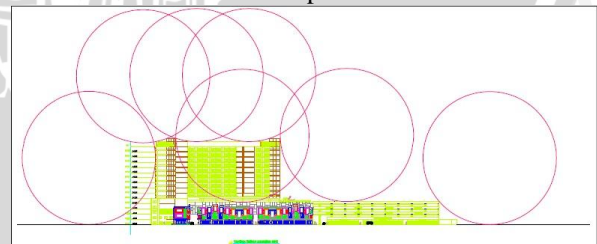
$$h_B = 2 \times 10 + 30 \left(1 - e^{-\frac{10}{6,8}}\right)$$

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

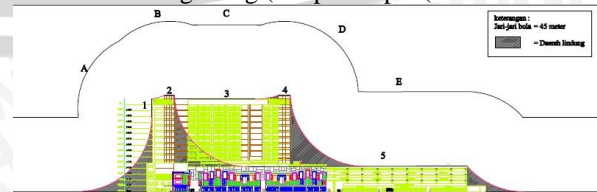
dari hasil perhitungan didapatkan nilai jarak sambar sebesar 43,1063 meter. Semakin kecil jari-jari bola berarti semakin kecil pula arus petir yang diperhatikan untuk dapat menyambar gedung.. oleh karena itu dilakukan penyesuaian nilai jari-jari bola sesuai dengan SNI 03-7015-2004 sehingga untuk perhitungan selanjutnya digunakan nilai jarak sambar adalah sebesar 45 meter.

4.2.2. Penentuan Daerah Lindung

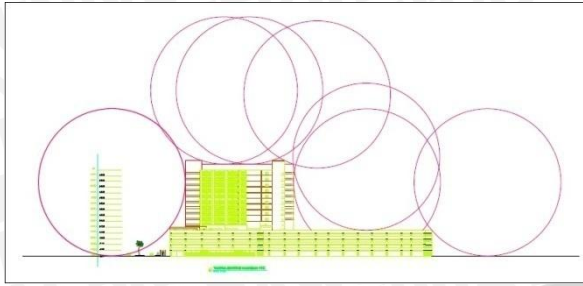
Bagian gedung yang tersentuh bola merupakan tempat terjadinya sambaran petir, sedangkan bagian yang tidak tersentuh bola merupakan daerah lindung. Daerah lindung ditentukan oleh jarak sambar yang terkait dengan nilai puncak arus petir. Metode bola gelinding yang diterapkan pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang dengan jari-jari bola sebesar 45 meter, dapat digambarkan dalam bentuk 2 dimensi seperti pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5.



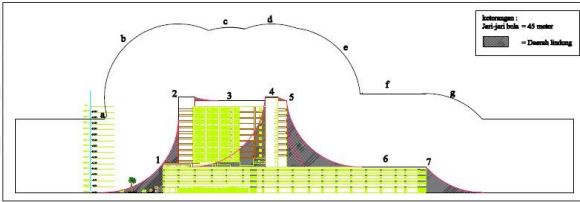
Gambar 4.1 Bola gelinding yang terbentuk pada gedung (tampak depan)



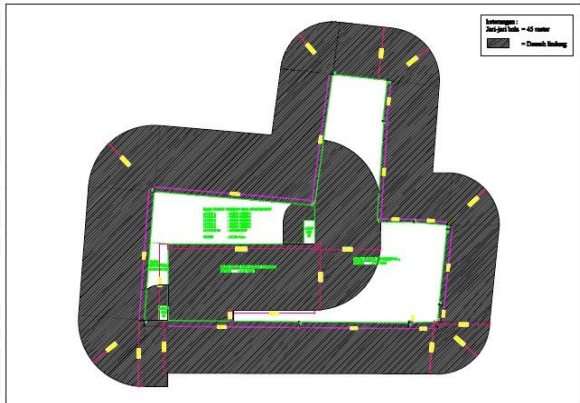
Gambar 4.2 Daerah Lindung yang terbentuk pada gedung (tampak depan)



Gambar 4.3 Bola gelinding yang terbentuk pada gedung (tampak samping)



Gambar 4.4 Daerah lindung yang terbentuk pada gedung (tampak samping)



Gambar 4.5 Daerah lindung yang terbentuk pada gedung (tampak atas)

4.3. Perancangan Sistem Terminasi Udara (*Finial*)

Sistem terminasi udara (*Finial*) digunakan untuk menjauhkan bola Gelinding dari bangunan yang akan dilindungi, dengan didimensikan dengan baik, sistem terminasi udara akan memastikan bahwa bola tidak akan menyentuh bagian manapun dari gedung, terlindunginya bagian gedung dari bola gelinding maka akan mengurangi dampak akan sambaran petir langsung. Perancangan sistem terminasi udara meliputi penentuan peletakan terminasi udara dan penentuan bahan terminasi udara.

4.3.1. Penentuan Peletakan Terminasi Udara

Bagian dari Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang yang dapat tersambar petir seperti yang digambarkan pada gambar 4.1 sampai dengan gambar 4.5 harus dilindungi oleh sistem terminasi udara yang berfungsi untuk menangkap petir dan menyalurkannya melalui penghantar penyalur menuju ke tanah. Pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang ini karena tinggi gedung lebih tinggi daripada jari-jari bola gelinding maka digunakan konduktor horizontal untuk melindungi sisi

gedung dari sambaran petir sedangkan untuk atap gedung digunakan batang vertikal.

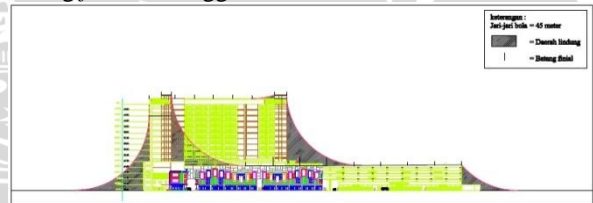
Menurut SNI 03-7015-2004 tinggi batang minimal dari batang finial adalah sebesar 2 sampai 3 Meter, maka penggunaan batang finial yang digunakan adalah sebesar 2 Meter. Pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang ini penyusunan batang finial diatur dalam susunan segi empat sehingga perlu dipertimbangkan dalam menentukan kedalaman penetrasi bola gelinding. jarak aman antar batang *finial* yang masih diperbolehkan agar penetrasi bola gelinding tidak menyentuh atap gedung adalah

$$d = 2 \times (r^2 - (r - p)^2)^{1/2}$$

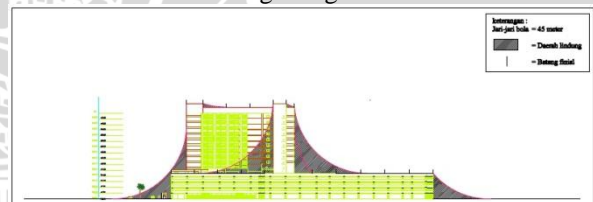
$$d = 2 \times (45^2 - (45 - 2)^2)^{1/2}$$

$$d = 26,53 \text{ meter}$$

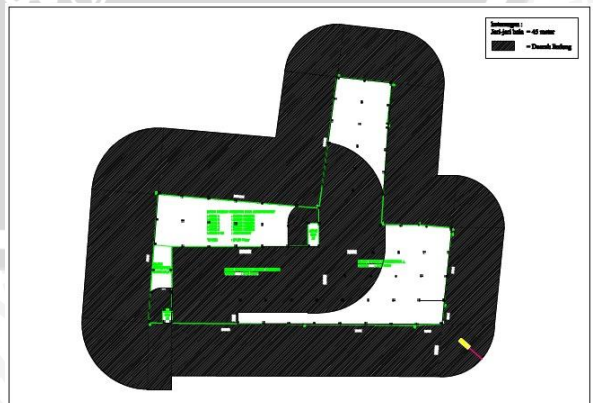
Letak batang finial yang tepat untuk melindungi Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang dari sambaran petir langsung dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.8. Terlihat pada gambar tersebut bahwa gedung membutuhkan 65 batang *finial* setinggi 2 meter dan 3 batang *finial* setinggi 5 meter.



Gambar 4.6 Tampak depan letak batang finial pada gedung



Gambar 4.7 Tampak samping letak batang finial pada gedung



Gambar 4.8 Tampak atas batang finial yang terbentuk pada gedung

4.3.2. Penentuan Bahan Sistem Terminasi Udara

Untuk pemilihan bahan sistem terminasi udara udara/finial pada Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang berdasarkan SNI 03-7015-2004 agar tahan terhadap korosi digunakan tembaga, aluminium atau baja galvanis. Karena sistem terminasi udara ini ditempatkan dalam udara terbuka untuk penggunaan bahan tembaga, aluminium maupun baja galvanis digunakan bentuk padat berserabut. Untuk tinggi dari batang finial seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya Dengan mempertimbangkan sisi estetika gedung, maka penggunaan batang finial yang disarankan sepanjang 2 meter. Sedangkan untuk dimensi sistem terminasi udara menurut SNI 03-7015-2004 pada penggunaan bahan tembaga (Cu) digunakan dimensi minimum sebesar 35 mm² dengan ketebalan minimum sebesar 5 mm², untuk penggunaan bahan Aluminium (Al) digunakan dimensi minimum sebesar 70 mm² dengan ketebalan minimum sebesar 7 mm² dan untuk bahan besi (Fe) digunakan dimensi minimum sebesar 50 mm² dengan ketebalan minimum sebesar 4 mm².

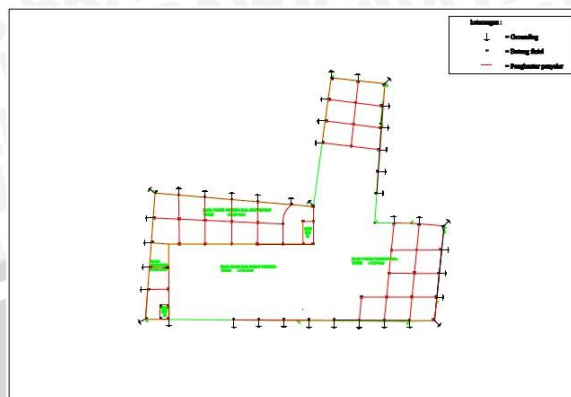
4.4 Perancangan Sistem Penghantar Penyalur (Down konduktor)

Sistem penghantar penyalur adalah salah satu bagian dari sistem proteksi petir yang menghubungkan antara sistem terminasi udara (finial) dan sistem pentanahan. Fungsi dari penghantar penyalur ini sendiri adalah untuk menyalurkan arus petir yang ditangkap oleh sistem terminasi udara ke sistem pentanahan tanpa menyebabkan kerusakan pada bangunan. Perancangan sistem penghantar penyalur meliputi perancangan tata letak penghantar penyalur dan pemilihan bahan sistem penghantar penyalur.

4.4.1 Tata Letak Penghantar Penyalur

Berdasarkan SNI 03-7015-2004 yang ditunjukkan pada Tabel 2.14, nilai rata-rata jarak antara penghantar penyalur terkait dengan jarak aman untuk tingkat proteksi III adalah 20m jika lebih besar dari ini maka jarak aman harus ditingkatkan dan untuk mendapatkan induktansi sekecil mungkin, konduktor penyalur harus dirancang sependek mungkin oleh karena itu perancangan tata letak penghantar penyalur untuk Gedung Kawasan Terpadu Blimbing Kota Malang digambarkan pada Gambar 4.9 sampai dengan 4.11.

Pada Gambar 4.9 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang tampak atas, sedangkan pada gambar 4.10 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang tampak depan dan pada gambar 4.11 ditunjukkan letak penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang tampak samping dimana jumlah keseluruhan penghantar penyalur yang diperlukan untuk menghubungkan antara batang finial dan grounding adalah 39 buah.



Gambar 4.9 Tampak atas sistem penghantar penyalur pada gedung



Gambar 4.10 Tampak depan sistem penghantar penyalur pada gedung



Gambar 4.11 Tampak samping sistem penghantar penyalur pada gedung

4.4.2 Penentuan Bahan Penghantar Penyalur

Untuk pemilihan bahan penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang berdasarkan SNI 03-7015-2004 agar tahan terhadap korosi digunakan tembaga, aluminium atau baja galvanis. Karena penghantar penyalur ini ditempatkan dalam udara terbuka untuk penggunaan bahan tembaga aluminium maupun baja galvanis digunakan bentuk padat berserabut. Sedangkan untuk dimensi sistem terminasi udara menurut SNI 03-7015-2004 pada penggunaan bahan tembaga (Cu) digunakan dimensi minimum sebesar 16 mm², sedangkan untuk penggunaan bahan Aluminium (Al) digunakan dimensi minimum sebesar 25 mm² dan untuk bahan besi (Fe) digunakan dimensi minimum sebesar 50 mm².

4.5 Penentuan Pembumian

Sistem pembumian merupakan salah satu sistem yang penting pada sistem proteksi petir eksternal yang berguna untuk mengalirkan arus petir ke tanah. Semakin kecil nilai resistansi yang dihasilkan maka semakin baik sistem pembumian, oleh karena itu dalam perancangan sistem pembumian pada gedung

kawasan terpadu Blimbing kota Malang dibutuhkan perhitungan nilai resistansi pembumian pada lokasi pembangunan. Berdasarkan persamaan 2.23 Besar kecilnya nilai resistansi dipengaruhi oleh panjang elektroda pentanahan, jari-jari elektroda pentanahan dan tahanan jenis tanah.

4.5.1 Data Hasil Pengukuran

Pengukuran nilai resistansi tanah dilakukan dua kali dengan menggunakan 1 batang elektroda dan 2 batang elektroda yang dipasang secara paralel dengan kedalaman elektroda sebagai variabel yang dirubah. Tabel 4.3 menunjukkan hasil pengukuran nilai resistansi tanah pada gedung terpadu kawasan blimbing kota Malang.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Resistansi Tanah

Kedalaman elektroda (cm)	Resistansi Pembumian (Ω)	
	1 Elektroda	2 Elektroda
10	207,3	71
20	126,2	48,1
30	94,1	29,7
40	83,3	25,2
50	58,6	20,4
60	44,5	19,5
70	38,6	17,4
80	36,7	13,2
90	28,6	10,3
100	25,9	8,6

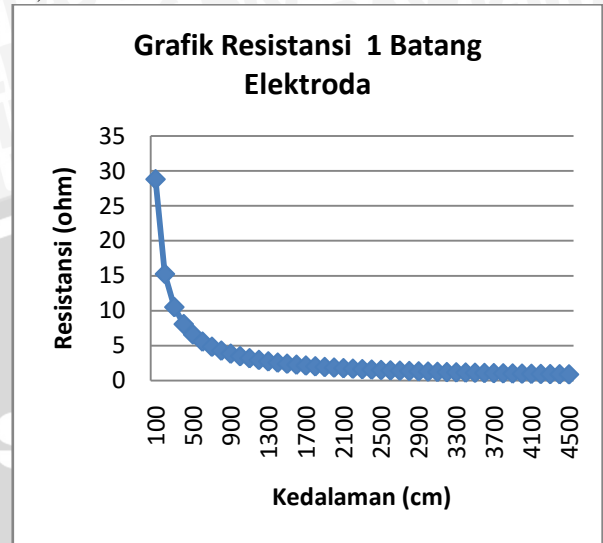
Sumber : Hasil Pengukuran

4.5.2 Data Hasil Pengukuran

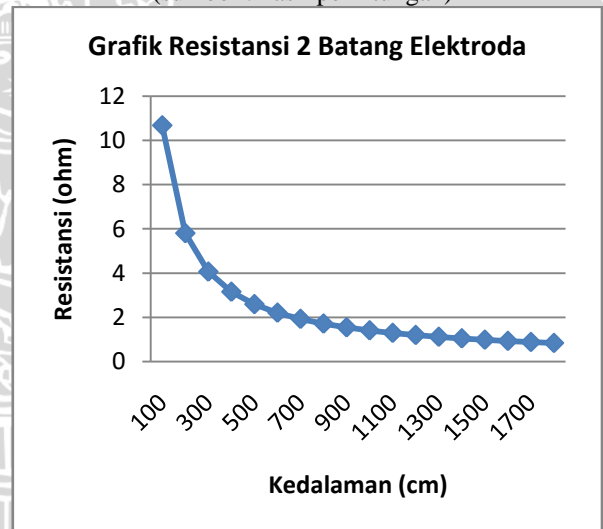
Berdasarkan tabel 4.3 maka dapat disimpulkan bahwa semakin dalam penanaman batang elektroda, maka nilai resistansi tanah yang dihasilkan akan semakin kecil, begitu pula dengan menggunakan dua batang elektroda yang dihubungkan secara paralel maka akan semakin kecil pula nilai resistansi tanah yang dihasilkan.

Dengan metode regresi geometris dari data hasil pengukuran dengan menggunakan satu batang elektroda yang dilakukan didapatkan fungsi grafik $y = 1972,2 X^{-0,9179}$ yang ditunjukkan pada grafik 4.12 dan dari data hasil pengukuran dengan menggunakan dua batang elektroda yang dipasang secara paralel didapatkan fungsi grafik $y = 611,7 X^{-0,879}$ yang ditunjukkan pada gambar 4.13. Pada gambar 4.12 menunjukkan grafik nilai resistansi tanah pada gedung kawasan terpadu blimbing kota Malang dengan menggunakan satu batang elektroda, pada grafik tersebut dapat diperoleh nilai tahanan pentanahan kurang dari 1Ω pada kedalaman 38,9 meter sedangkan pada gambar 4.13 menunjukkan grafik nilai resistansi tanah dengan menggunakan dua batang elektroda, pada grafik tersebut dapat diperoleh nilai

tahanan pentanahan kurang dari 1Ω pada kedalaman 14,8 meter.



Gambar 4.12 Grafik Resistansi Pentanahan dengan satu batang elektroda (sumber : hasil perhitungan)



Gambar 4.13 Grafik Resistansi Pentanahan dengan dua batang elektroda (sumber : hasil perhitungan)

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari keseluruhan analisis perancangan sistem proteksi petir eksternal pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya adalah:

1. Tingkat proteksi petir yang sesuai untuk gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang adalah tingkat proteksi ketiga dengan efisiensi proteksi sebesar sebesar 91% yang berarti bahwa sistem ini akan memproteksi 91% dari keseluruhan sambaran petir ke

tanah sedangkan 9% sisanya merupakan resiko gedung tersambar petir melewati sistem proteksi yang terpasang.

2. Sistem Proteksi petir eksternal yang sesuai dengan tingkat proteksi ketiga pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota malang adalah:
 - Sistem terminasi udara membutuhkan membutuhkan 65 batang *finial* setinggi 2 meter dan 3 batang *finial* setinggi 5 meter diletakkan pada titik-titik tempat terjadinya sambaran petir yang digambarkan pada gambar 9.6 sampai dengan 9.8. Bahan yang digunakan untuk batang *finial* bisa berupa tembaga,aluminium maupun besi dengan dimensi minimum sebesar 35mm² dengan ketebelan minimum sebesar 5mm² untuk bahan tembaga(Cu) dan untuk penggunaan bahan Aluminium(Al) digunakan dimensi minimum sebesar 70 mm² dengan ketebelan minimum sebesar 7mm² sedangkan untuk untuk bahan besi(Fe) digunakan dimensi minimum sebesar 50 mm² dengan ketebelan minimum sebesar 4mm².
 - Sistem penghantar penyalur pada gedung kawasan terpadu Blimbing kota Malang menggunakan 39 buah penghantar yang digambarkan pada gambar 9.9 sampai dengan 9.11. Bahan yang digunakan untuk penghantar penyalur bisa berupa tembaga aluminium maupun besi dengan dimensi minimum untuk tembaga(Cu) sebesar 16mm², sedangkan untuk penggunaan bahan aluminium(Al) digunakan dimensi minimum sebesar 25 mm² dan untuk bahan besi(Fe) digunakan dimensi minimum sebesar 50mm².
 - Sistem pembumian yang dibutuhkan untuk gedung ini sebanyak 39 buah pembumian dan untuk mendapatkan tahanan pembumian kurang dari 1 ohm tiap-tiap pembumian tersusun atas 2 batang elektroda yang dipasang secara vertikal dengan panjang paling tidak 14,8 meter

5.2. Saran

Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai jenis dan harga komponen dipasaran untuk mendapatkan proteksi yang lebih baik dan mengetahui perhitungan total biaya yang dibutuhkan untuk merancang sistem proteksi petir pada gedung

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 1. 1983. "Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) untuk Bangunan di Indonesia". Jakarta: Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan.4
- Anonim 2. 2004. "Standarisasi Nasional Indonesia Proteksi Bangunan terhadap Petir". Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Anonim 3. 2006. "Parameter Petir". <http://www.telkomrdc-media.com/index.php?ch=8&lang=&n=346>. Diakses tanggal 12 Februari 201
- Anonim 4. 2007. "Peta Isokeraunik Level". <http://geofisikagowa.wordpress.com/publikasi/peta-isokeraunik-level>. diakses tanggal 04 februari 2016
- Anto. 2013. "Analisis Sistem Proteksi Petir". <http://www.scribd.com/doc/178227754/Analisis-Sistem-Proteksi-Petir>. diakses tanggal 04 Februari 2016
- Ardra. 2010. "mengukur resistivitas tanah, metoda wenner". <http://ardra.biz/sain-teknologi/metalurgi/korosi-corrosion/mengukur-resistivitas-tanah-metoda-wenner>. diakses tanggal 01 februari 2016
- Cooray, Vernon. 2010. "Lightning Protection". United Kingdom: Athenaeum Press Ltd.
- Murdiansyah, Nautika. 2011 "Petir". <http://nautika-murdiansyah.blogspot.com/2011/04/petir.html>. diakses tanggal 04 februari 2016
- Susanto, Tri. 2011. "Metode Geolistrik Resistivitas". <http://trisusantosetiawan.wordpress.com/2011/01/04/metode-geolistrik-resistivitas/>. diakses tanggal 01 februari 2016