

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada penulisan tugas akhir ini merujuk pada penelitian yang pernah dilakukan guna untuk mendukung penulisan tugas akhir, diantaranya sebagai berikut:

(Syakur & Yuningtyastuti, 2006) melakukan kajian terhadap sistem proteksi penangkal petir pada gedung Widya Puraya di Universitas Diponegoro kampus tembalang, di dapatkan hasil bahwa pada gedung Widya Puraya memiliki peranan yang sangat penting karena gedung ini adalah gedung yang tertinggi pada Universitas Diponegoro. Melihat letak geografis Indonesia yang berada dilokasi dengan tingkat hari guruh yang tinggi pada tahun 2006 yaitu sebanyak 128 hari guruh pertahunnya maka gedung Widya Puraya Sebenarnya membutuhkan sistem proteksi penangkal petir yang mumpuni.

(Saini, Yunus, & Pangkung, 2016) melakukan penelitian terhadap Pengembangan sistem Penangkal Petir dan Pentanahan Elektroda Rod dan plat, pada penelitian ini adalah untuk menghasilkan internal dan eksternal *Lighting* dengan pentanahan yang telah banyak digunakan di industri seperti *Lighting Protection* dan sistem pentanahan dari gardu induk, *transmission lines* dan *coupling wire* yang digunakan pada bangunan pencakar langit. Dalam penelitian ini *Lighting Rod* di tempatkan diluar bangunan yang berfungsi untuk menangkap atau menerima petir dan menyalurkannya ke tanah secara aman. Dalam penelitian ini ada 5 kedalaman dari elektroda rod yang diujikan yakni: 3 m, 5 m, 7 m, dan 12 m. Menggunakan lebar dari elektroda $1 \times 1 \text{ m}^2$, dengan kedalaman 3 m, 5 m, 7 m, 12 m pada kondisi tanah kering, nilai tahanan pentanahan yang diperoleh adalah berkisar 1,55 sampai 2,03 Ohm. Untuk tanah lembab, nilai tahanan pentanahan adalah berkisar 1,97 sampai 2,60.

(Aditya, 2017) melakukan penelitian terhadap kegagalan sistem *grounding* dan penangkal petir pada apartemen pancoran riverside. Pada perangkat penangkal gagal berfungsi sehingga mengakibatkan kerusakan pada beberapa perangkat maupun komponen elektronik. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali, dimana menunjukkan angka rata-rata sebesar $7,33\Omega$ yaitu pada instalasi *grounding* panel.

Kenaikan tahanan tanah tersebut diketahui dipengaruhi oleh tingkat kandungan tanah yang basa atau tingkat keasaman tanah $pH > 7$ sehingga nilai tahanan tersebut naik dan daya hantar arus listrik menuju bumi tidak baik. Maka dari itu harus dilaksanakan perbaikan agar sistem tersebut dapat mendapatkan tahanan pentanahan yang sesuai standar dan dapat berfungsi kembali.

(Abidin & Ghufron, 2015) melakukan pengujian perbaikan sistem pentanahan menggunakan garam dan arang sebagai media pengujiannya. Pada penelitian ini sesuai dengan data penelitian dilapangan bahwa pentanahan air, garam, dan arang dapat dilakukan untuk pengujian sistem pentanahan. Pada penelitian kali ini pengujian dilakukan pada Tanah Padas, Tanah Basah, Tanah Kapur pada kondisi Basah, dan Tanah padas dll tanpa garam dan arang. Pada kondisi tanah padas mendapatkan hasil yang baik pada pengujiannya sekitar $1,5 \Omega$ dan hasil yang mendekati tidak ideal adalah Tanah $2,43 \Omega$, tetapi hasil penelitian ini masih ideal karena nilai ideal pada tahanan tanah adalah 5Ω . Dapat disimpulkan bahwa menggunakan metode garam dan arang dapat memperbaiki nilai tahanan tanah.

(Agriselius, Syahrial, & Saodah, 2014) melakukan kajian terhadap pemilihan pentanahan netral pada PLTMH Ambon. Pada jurnal ini menjelaskan jika pada pemilihan pentanahan titik netral sangat penting karena jika terjadi gangguan hubung singkat pada pembangkit dapat di proteksi dan disalurkan ke tanah. Pemilihan pentanahan titik netral ini dilakukan penelitian menggunakan generator berkapasitas $2 \cdot 4,4 \text{ MW}$ disimulasikan gangguan hubung singkat 3 phasa dan 1 phasa ke tanah. Diapatkan hasil pentanahan sebesar 72Ω .

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Definisi Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah hal yang sangat penting dalam sistem kelistrikan karena memiliki fungsi sebagai alat untuk pengaman keselamatan maupun perlindungan terhadap bangunan, peralatan, sistem instrumentasi dan sistem tenaga.

Pada buku Teknik Pemanfaatan listrik dijelaskan bahwa Sistem pentanahan adalah Penghubung antara penangkal petir dengan elektroda

tanah yang berfungsi mengamankan peralatan dan bangunan. Sistem pentanahan baru dikenal oleh masyarakat umum pada tahun 1900 an. (Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

Menurut (Richard, 2014) Sistem pentanahan yang baik adalah sistem yang memenuhi persyaratan yang berlaku seperti berikut :

- 1 Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengaman personil dan peralatan.
- 2 Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang
- 3 Menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi kimiawi tanah.
- 4 Menggunakan sistem mekanik yang kuat.

2.2.2 Fungsi Sistem Pentanahan

Sistem *Grounding* memiliki tiga fungsi utama yaitu :

2.2.2.1 Keselamatan Individual

Keselamatan manusia dapat tercapai dengan pemasangan pentanahan dengan impedansi rendah yang dihubungkan atau *Bonding* antara peralatan logam, chassis, pemipaan, dan benda konduktif lainnya sehingga arus bocor dan gangguan petir, tidak mengakibatkan tegangan yang cukup untuk menimbulkan bahaya kejut listrik bagi manusia. Pemasangan instalasi pentanahan yang tepat memudahkan pengoperasian perangkat pelindung arus lebih yang melindungi sirkuit atau instalasi kelistrikan yang terpasang (Abdullah, Fungsi Sistem Pentanahan, 2018)

2.2.2.2 Peralatan dan Perlindungan Bangunan

Perlindungan peralatan dan bangunan dapat dijamin dengan pemasangan pentanahan dengan impedansi rendah yang dihubungkan atau *Bonding* antara layanan listrik, perangkat pelindung, peralatan dan benda konduktif lainnya sehingga gangguan arus bocor dan petir tidak

mengakibatkan tegangan berbahaya di dalam gedung. Komponen dapat bekerja secara tepat terutama perangkat pelindung arus lebih, karena komponen ini sering bergantung pada jalur arus dengan impedansi rendah. (Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

2.2.2.3 Pengurangan Noise Listrik

Pemasangan sistem pentanahan yang baik dapat mengurangi noise pada peralatan dan komponen elektronis yang berada dalam gedung seperti komponen pengeras suara, cctv, dan peralatan dengan sistem DC pada gedung. Sistem pentanahan yang tepat dapat mengurangi kebisingan listrik dan memastikan:

- Impedansi antara titik ground sinyal di seluruh bangunan dapat diminimalkan.
- Potensi beda tegangan antar peralatan yang saling berhubungan diminimalkan.
- Bahwa efek ganda medan listrik dan magnet diminimalkan.

Fungsi lain dari sistem pentanahan adalah untuk memberikan jalan bagi konduktor rangkaian untuk menstabilkan tegangan ke *Ground* selama operasi normal. Bumi itu sendiri tidak semaksimal untuk memberikan fungsi jalan untuk arus listrik. Sebagai gantinya tubuh manusia dapat bersifat konduktif yang akan menjadi jalur untuk arus listrik mengalir ke bumi. (Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

2.2.3 Tujuan Sistem Pentanahan

Tujuan utama Pentanahan adalah menciptakan terjadinya jalur yang memiliki *low impedance* (Tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching*, dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik. Sistem pentanahan yang baik akan menimalkan efek tersebut.

Menurut (IEE, 2007) tujuan sistem pentanahan adalah:

- Membatasi terjadi besarnya tegangan yang ada di bumi bumi agar berada dalam batasan-batasan yang disarankan.
- Penyedia jalur untuk aliran arus yang bisa memberikan deteksi jika terjadinya hubungan yang bisa menyebabkan masalah antara konduktor sistem dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

(Hatauruk, 1991) , sistem pentanahan memiliki tujuan lain seperti:

- Menjaga Manusia yang ada di derah tersebut agar terhindar dari tegangan kejut listrik yang sangat berbahaya.
- Untuk meminimalisir adanya arus yang berlebih, Ketika arusnya besar maupun terjadinya gangguan yang lama pada tanah tanpa menimbulkan ledakan atau kebakaran pada bangunan dan peralatan yang ada didalamnya.

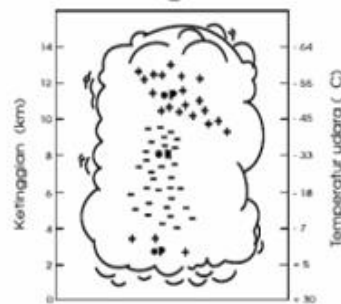
2.2.4 Dampak dari Nilai Tahanan berlebih pada Sistem Pentanahan

Pada sistem pentanahan memiliki standar nilai tahanan sebesar 5Ω seperti yang dijelaskan pada PUIL dan PUIPP. Jika pada gedung memiliki nilai tahanan yang melebihi standar maka akan terjadi banyak kecelakaan baik untuk gedung, instalasi dan manusia. Masalah paling besar yang mungkin terjadi adalah kebakaran. Adanya sistem pentanahan adalah untuk meminimalisir arus berlebih yang dialirkan menuju ke tanah.

2.2.5 Pengertian Petir

Petir adalah suatu peristiwa bertemunya muatan listrik di udara, yang terjadi diantara awan dengan awan, antara pusat muatan di dalam awan tersebut, dan antara awan dengan tanah. Petir bisa menyebabkan suatu kerusakan dari yang paling kecil hingga yang paling parah seperti kebakaran suatu benda dan tempat tinggal. Secara umum petir dapat diartikan hasil dari proses pertemuan dengan atmosfer bumi sehingga muatan terkumpul di awan.

Distribusi muatan awan pada umumnya dibagian atas ditempati oleh muatan positif dan muatan negatif biasanya terletak di bagian bawah awan. Sambaran terjadi karena adanya pertemuan antara muatan negatif dan muatan positif (Saini, Yunus, & Pangkung, 2016). Gambar dibawah adalah kemungkinan muatan awan petir pada umumnya.



Gambar 2.1 Muatan positif dan muatan negatif pada awan petir

2.2.5.1 Dampak Sambaran Petir

Dampak sambaran petir sangat berbahaya demi keselamatan manusia dan juga peralatan elektronik maupun mesin yang ada pada gedung tersebut. Beberapa dampak yang ditimbulkan oleh sambaran petir tersebut adalah:

1. Terhadap Bangunan dan Peralatan

Sambaran petir Langsung adalah ketika sambaran petir langsung menyambar alat-alat listrik ataupun bagian jaringan instalasi listrik, seperti kabel jaringan, transformer, dan lain lain. Dampak dari sambaran ini sendiri biasanya dapat menimbulkan ledakan yang sangat besar atau resiko yang sangat berbahaya terhadap jaringan listrik yang ada di bumi (Aditya, 2017).

2. Terhadap Manusia

Jika Sistem Pentanahan tidak sesuai Standar Nasional dan Internasional maka akan terjadi dampak seperti berikut:

- Ketika terjadi kebakaran maka tidak dapat bernafas dengan baik dikarenakan asap.
- Sambaran petir juga dapat menyebabkan kerusakan struktur dimana reruntuhan bangunan dapat menimpa manusia.
- Ketika Sambaran petir terjadi dan di struktur tersebut tidak tersedia sistem pentanahan atau sistem pentanahan tidak sesuai standar maka akan terjadi kebocoran atap yang dapat menyebabkan bahaya elektrik, kegagalan atau kerusakan sistem proses keamanan dan peralatan instalasi.

2.2.6 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan tanah adalah hal yang utama dalam sistem pentanahan. Tahanan tanah diberi satuan Ohm meter dimana jenis tanah akan menjadi tolak ukur untuk penelitian dan resistansi tanah. Tahanan jenis tanah akan berubah sewaktu-waktu dan tahanan yang berbeda dengan tanah lainnya seperti pada tabel 2.1 dibawah.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis tanah (Ohm)
Tanah Rawa	40
Tanah Liat	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Tanah Berbatu	1000
Air Laut dan Air Tawar	3000

(Sumber: PUIL 2000)

2.2.7 Jenis-Jenis Sistem Pentanahan

Sistem Pentanahan dapat dibagi kedalam 3 garis besar yaitu ;

- Pentanahan Sistem titik netral
- Pentanahan Peralatan
- Pentanahan Penangkal Petir

2.2.7.1 Pentanahan Sistem titik Netral

(Richard, 2014) Pentanahan dengan sistem titik netral adalah suatu sistem yang titik netral dari sistem tersebut sengaja dihubungkan ke tanah, baik melalui impedansi maupun secara langsung. Pentanahan titik netral memiliki tujuan, yaitu sebagai berikut :

1. Menghilangkan busur api pada suatu sistem.
2. Membatasi tegangan yang berlebih pada fasa yang tidak terganggu.
3. Meningkatkan keandalan dalam penyedia energi listrik.
4. Mengurangi tegangan lebih yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang.
5. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi.

2.2.7.2 Pentanahan Peralatan

Pentanahan Peralatan adalah pengamanan dengan cara menghubungkan badan peralatan/instalasi yang diproteksi dengan hantaran netral yang ditanahkan. Yang dimaksud bagian dari peralatan ini adalah bagian-bagian peralatan yang secara normal tidak dilalui arus listrik namun dalam keadaan tidak normal dimungkinkan dilalui arus listrik.

Pentanahan Peralatan bertujuan :

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dalam kondisi normal maupun abnormal
2. Untuk mendapatkan nilai impedansi yang kecil/rendah.

2.2.7.3 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk mengurangi timbulnya kecelakaan atau kerusakan akibat sambaran petir, maka langkah baiknya suatu bangunan memiliki penangkal petir. Dengan adanya penangkal petir, sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi petir yang dialirkan ke bumi tanpa merusak bangunan dan benda sekitar.

Penangkal petir memiliki beberapa bagian utama yaitu :

1. Batang Penangkal Petir

Batang penangkal petir adalah sebuah konduktor yang dipasang diatas gedung yang dihubungkan ke tanah melalui kabel konduktor penghantar, untuk melindungi bangunan pada saat terjadi sambaran petir. Penangkal petir biasanya dibuat meruncing atau segitiga karena muatan listrik mempunyai sifat mudah terkumpul.



Gambar 2.2 Batang penangkal petir
(Sumber:Google)

2. Kabel Konduktor

Kabel Konduktor atau yang biasa dikenal kabel penghantar adalah sebuah kabel yang terbuat dari jalinan kawat tembaga sekitar 1-2 cm. Kabel ini berfungsi untuk meneruskan aliran listrik atau sambaran listrik dari batang penangkal petir menuju ke tanah. Kabel ini biasanya dipasang di dinding bagian luar bangunan.



Gambar 2.3 Kabel Konduktor Penangkal Petir

3. Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah suatu konduktor dipasang di dalam tanah yang memiliki fungsi sebagai pengalir muatan listrik dari kabel konduktor ke dalam bumi. Biasanya batang pentanahan ini terbuat dari bahan tembaga yang berlapis baja agar dapat menghantarkan muatan listrik ke tanah dengan baik.



Gambar 2.4 Elektroda tipe Batang

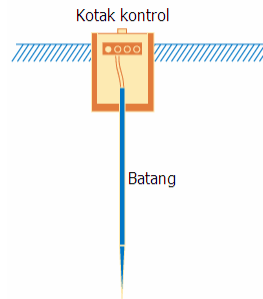
2.2.8 Macam-macam elektroda Pentanahan

Prinsip-prinsip elektroda ditentukan dengan melihat bahan yang akan dalam sistem pentanahan. Menurut PUIL 2000 elektroda adalah penghantar yang ditanamkan ke dalam tanah. Untuk elektroda pentanahan biasanya terbuat dari bahan tembaga dan baja yang mudah menghantarkan tenaga listrik. Maka dari itu macam-macam elektroda pentanahan dibagi dalam beberapa bentuk yaitu :

2.2.8.1 Elektroda Batang

Elektroda batang atau sering disebut elektroda tunggal yang terbuat dari besi tembaga atau baja yang ditanamkan ke dalam tanah. Secara teknis, elektroda ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan waktu yang lama untuk pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Elektroda ini biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam tergantung dengan keadaan tanahnya.

(Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)



Gambar 2.5 Elektroda Batang atau Elektroda Tunggal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan elektroda batang adalah :

$$RG = RR = 1 + \frac{\rho}{2\pi LR} \left[I_n \left(\frac{ALR}{AR} \right) - 1 \right] \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

RG = Resistansi Pentanahann (Ω)

RR = Resistansi pentanahan untuk batang tunggal (Ω)

ρ = Resistansi jenis Tanah (Ω m)

LR = Panjang Elektroda (m)

AR = Diameter elektroda (m)

Jika kebutuhan pentanahan tidak dapat dipenuhi dalam 1 elektroda batang maka bisa menggunakan pentanahan dengan 2 elektroda batang.

Rumus tahanan 2 elektroda batang adalah sebagai berikut : (Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

$$R = \frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{RN} \dots \dots \dots (2.2)$$

2.2.8.2 Elektroda Plat

Elektroda Plat adalah elektroda yang terbuat dari tembaga. Elektroda ini biasanya berbentuk seperti plat ada yang utuh dan ada juga yang berlubang. Biasanya elektroda ini ditanam di dalam tanah. Elektroda plat bisa digunakan jika tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan elektroda jenis lainnya.

(Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

$$RG = Rp = \frac{\rho}{2\pi Lp} \left[\ln \left(\frac{8Wp}{0,5 Wp + Tp} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

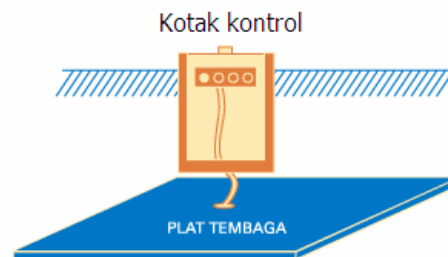
R_p = Tahanan Pentanahan Plat (Ohm).

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ohm Meter).

L_p = Panjang Plat (m).

W_p = Lebar Plat (m).

T_p = Tebal Plat (m).

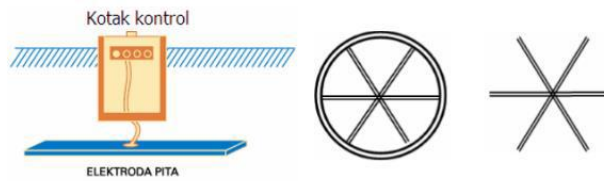


Gambar 2.6 Elektroda Plat

2.2.8.3 Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang mempunyai bentuk menyerupai pita atau berpenampang bulat yang pada umumnya dipasang tidak terlalu dalam. Dikarenakan pemasangannya yang dangkal, biasanya elektroda ini akan bermasalah apabila terdapat lapisan tanah yang berbatu.

Besar kecilnya resistansi pentanahan dihasilkan dari bentuk elektroda sendiri yaitu bentuk melingkar, roda atau kombinasi keduanya. (Richard, 2014)



Gambar 2.7 Elektroda Bentuk Pita dan Kombinasi

Rumus yang biasa digunakan adalah:

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_w} \left[\ln \left(\frac{2L_w}{\sqrt{d_w Z_w}} \right) + \frac{1,4 L_w}{\sqrt{A_w}} - 5,6 \right] \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

R_w = Tahanan dengan kisi-kisi (grid) kawat (Ohm).

ρ = Tahanan Jenis Tanah (Ohm Meter).

L_w = Panjang Total Grid Kawat (Ohm).

d_w = Diameter Kawat (m).

Z_w = Kedalaman penanaman (m).

A_w = Luasan yang dicakup oleh grid (m²).

2.2.9 Sistem-sistem penangkal petir

2.2.9.1 Sistem Franklin

Sistem Franklin adalah sistem yang menggunakan sebuah batang yang runcing dari bahan cooper yang dipasang di bagian paling atas bangunan tersebut. Lalu dihubungkan dengan batang tembaga menuju ke elektroda tanah. Sistem ini menggunakan sebuah spit penangkal petir yang terpasang pada tempat tertinggi. Gambar sistem pentanahan Franklin dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Penangkal Petir sistem Franklin

2.2.9.2 Sistem Faraday atau Strapping

Sistem Faraday hampir memiliki prinsip yang sama dengan sistem franklin. Jika sistem franklin dibuat memanjang atau berbentuk sangkar sehingga jangkauan sistem ini lebih luas, sistem faraday menggunakan 4 spit penangkal petir pada satu bangunan. Gambar sistem pentanahan Faraday dapat dilihat pada gambar 2.9 dibawah ini.



Gambar 2.9 Sistem Faraday/Strapping

2.2.9.3 Sistem Radio Aktif

Sistem ini sudah dilarang dipergunakan, karena sistem ini dapat menyebabkan radiasi jika mengalami kebocoran pada alat ini. Tetapi sebagai gantinya dapat menggunakan sistem penangkal petir Model *Energy Froide (Electrostatic Field)* atau biasa disebut sistem penangkal petir *EF*. Contoh batang finial yang digunakan pada sistem radio aktif dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah ini



Gambar 2.10 Batang Finial Sistem Radio Aktif

2.2.10 Frekuensi Sambaran Petir

(Syakur & Yuningtyastuti, 2006) Jumlah rata-rata frekuensi sambaran petir langsung pertahun (N_d) dapat dihitung dengan perkalian kepadatan kilat kebumi pertahun (N_g) dan luas daerah perlindungan efektif pada gedung (A_e)
 $N_d = N_g \cdot A_e$ (2.5).

Kerapatan sambaran petir ke tanah dipengaruhi oleh hari guruh rata-rata per tahun di daerah tersebut. Hal ini ditunjukkan oleh rumus berikut:

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1.26} \text{ (2.6).}$$

Nilai A_e dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$A_e = [\{2(p+1) \cdot 3h\} + \{3,14 \cdot 9h^2\}] \text{ (2.7).}$$

Sehingga dari persamaan 2 dan 3 ke persamaan 1 ,maka nilai N_d dapat dicari dengan persamaan berikut ini:

$$N_d = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T^{1.26} [AB + 6h [A+ B] + 9\pi h^2] \text{ (2.8).}$$

Frekuensi rata-rata tahunan N_n dari kilat mengenai tanah dekat gedung dapat dihitung dengan perkalian kerapatan petir tanah pertahun N_g dengan cakupan daerah disekitar gedung yang disambar A_g .

$$N_n = N_g \cdot A_g \text{ (2.9).}$$

Dimana:

A = Panjang atap gedung (m).

B = Lebar atap gedung (m).

h = Tinggi atap gedung (m).

T = Hari guruh pertahun.

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah.

A_e = Luas daerah yang memiliki angka sambaran petir (Km^2).

(Karahap, 2007) Jumlah gangguan akibat kegagalan penangkal petir dapat dihitung dengan persamaan yaitu :

- Mengetahui jumlah hari guruh pertahun di daerah tersebut dari BMKG

- Menghitung luas daerah yang dilindungi penangkal petir (a).

$$a = \pi r^2 + S \cdot D \dots \dots \dots (2.10).$$

- Menghitung harga kerapatan sambaran petir (d).

$$d = 9,875 \times 10^{-8} \cdot I_{KL} \dots \dots \dots (2.11).$$

- Menghitung jumlah sambaran petir yang terjadi pada penangkal petir (l).

$$l = 100 / S \cdot a \cdot d \dots \dots \dots (2.12).$$

- Kemungkinan terjadinya kegagalan penangkal petir

$$\text{Log } P\theta = 0.06 \cdot (\theta - 2,2) \dots \dots \dots (2.13).$$

2.2.11 Hari Guruh

W.M.O (*World Meteorologi Organization*) mendefinisikan hari guruh adalah perkumpulan banyaknya hari dimana terjadi terdengarnya guntur yang paling sedikit terdengar satu kali dalam jarak kira-kira 15 km atau lebih dari stasiun pengamatan. (Abdullah, Analisis sistem Pentanahan Gedung Admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018)

Data dari BMKG menyatakan adanya beberapa daerah yang mengalami badai guntur yang cukup tinggi dalam setahunnya. Daerah daerah tersebut adalah sebagian daerah Sumatra Utara, Kepulauan Belitong, Jawa Barat, Maluku, Jawa timur, dan sebagian daerah di Papua yang hari guruhnya mencapai 200 hari pertahun. Untuk D.I Yogyakarta hari guruhnya mencapai 270 (menurut stasiun Geofisika wilayah Yogyakarta). Faktor yang mempengaruhi tingginya terjadi hari guruh adalah curah hujan yang tinggi.

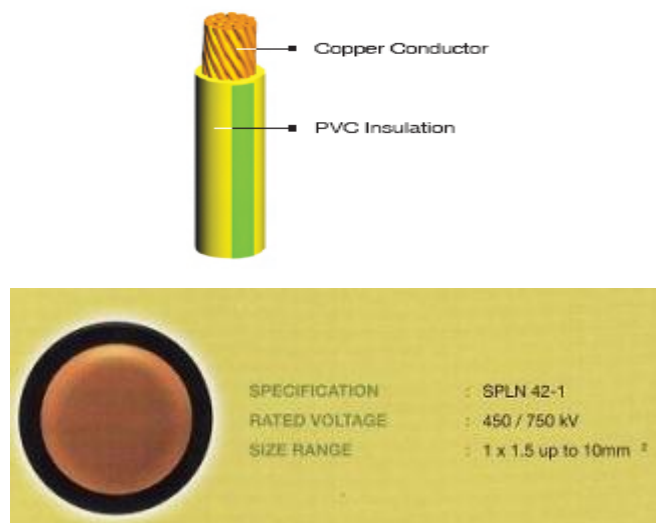
2.2.12 Standar yang digunakan pada Sistem Pentanahan

(PUIL, 2000) Standar yang digunakan dalam sistem pentanahan harus terbuat dari bahan yang sesuai dengan standar internasional dan nasional.

Dimaksudkan untuk dapat menjamin keselamatan manusia, bangunan, makhluk hidup lainnya dari kerusakan yang dapat membahayakan pengguna instalasi listrik.

2.2.12.1 Kabel NYA

Kabel NYA memiliki inti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC. Kabel ini biasanya digunakan di instalasi yang diletakkan diluar . Kabel ini memiliki warna isolasi ada yang merah, kuning, biru, dan hitam sesuai dengan peaturan PUIL. Lapisan isolasi ini hanya mempunyai 1 lapisan sehingga lapisan ini memiliki kekurangan yang mudah cacat,tidak tahan air dan mudah digigit tikus. Biasanya pada pemasangan kabel ini diberi pelapis pipa jenis PVC agar saluran tertutup. (Laras & Suyono, 2014).



Gambar 2.11 Kabel NYA

2.2.12.2 Kabel NYM

Kabel NYM memiliki lapisan isolasi PVC yang mempunyai inti 2,3,dan 4. Kabel NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA dan harganya lebih mahal dari kabel NYA. Kabel ini dapat digunakan dalam segala cuaca baik dalam kondisi kering ataupun kondisi basah, Namun kabel ini tidak boleh ditanam di dalam tanah.



Gambar 2.12 Kabel NYM

2.2.12.3 Kabel NYY

Kabel NYY mempunyai lapisan luar yang berwarna hitam. Kabel NYY banyak digunakan untuk instalasi bawah tanah atau tertanam karena kabel ini memiliki isolasi yang kuat dari kabel NYM dan NYA. Kabel ini juga memiliki harga yang lebih mahal. Walaupun kabel ini tertanam di tanah tidak akan dirusak oleh tikus karena kabel ini terbuat dari bahan yang tidak disukai oleh tikus.



Gambar 2.13 Kabel NYY

2.2.12.4 Kabel NYAF

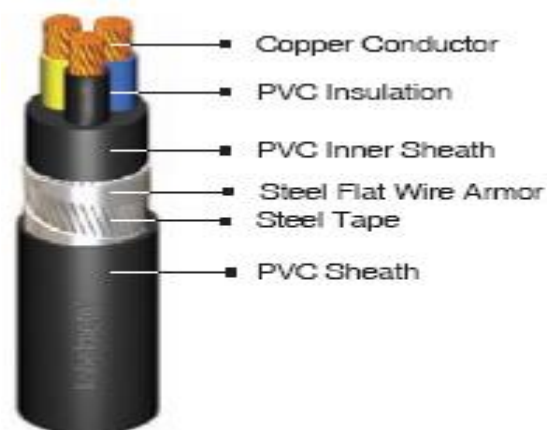
Kabel NYAF merupakan kabel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi. Kabel ini memiliki fungsi yang fleksibel dengan kabel penghantar tembaga serabut yang memiliki isolasi PVC.



Gambar 2.14 Kabel NYAF

2.2.12.5 Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY biasa digunakan pada instalasi bawah tanah, di dalam ruangan, di dalam saluran-saluran dan pada tempat terbuka dimana terdapat perlindungan terhadap gangguan mekanis sangat dibutuhkan, ataupun untuk tekanan rentangana yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.



Gambar 2.15 Kabel NYFGbY

2.2.12.6 Kabel ACSR (*Aluminium Conduct Steel Reinforced*)

Kabel ACSR merupakan kawat penghantar yang terdiri dari bahan Aluminium berinti kawat baja. Kabel ini biasa digunakan untuk saluran transmisi yang bertegangan tinggi, dimana jarak antara menara berjauhan. Kabel ACSR memiliki nilai kuat tarik yang lebih tinggi.



Gambar 2.16 Kabel ACSR

Sumber: <http://www.anekabel.com/product/2/5/NYA-Cable>

2.2.13 Penghantar Rel (Busbar)

Busbar adalah titik pertemuan atau hubungan trafo-trafo tenaga listrik, dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik atau daya listrik. Sistem rel yang dipakai pada panelindung sistem 3 fasa di gedung bertingkat bias disebut dengan “Sistem 5 rel”. Tiga rel diperuntukkan untuk penghantar 3 fasa masing-masing fasa R, fasa S, dan fasa T, satu rel diperuntukkan untuk hantaran netral dan satu rel lagi untuk hantaran pentanahan (*grounding*), yang diletakkan di bagian bawah di dalam panel. Sedangkan untuk rel fasanya diletakkan dibagian atas.

Menurut (Kerja, 1989) suatu gedung harus memiliki bahan penghantar yang dipasang khusus harus digunakan kawat tembaga atau bahan yang dapat menghantarkan dengan penampang kabel sekurang-kurangnya 50mm^2 dan setiap bentuk penampang dapat dipakai dengan tebal penampang kabelnya minimal 2 mm^2 .

2.2.14 Kebutuhan Perlindungan Terhadap Petir Menurut PUIPP

(Septian, 2010) besarnya kebutuhan tersebut ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan disuatu lokasi dan dirumuskan sebagai berikut:

$$r = a + b + c + d + e \dots\dots\dots(2.14).$$

Keterangan:

r = Perkiraan bahaya petir

a = Penggunaan dan Isi Bangunan

b = Konstruksi bangunan

c = Tinggi Bangunan

d = Situasi Bangunan

e = Pengaruh Kilat

Berdasarkan persamaan diatas, semakin besar indeks pada bangunan tersebut akan semakin besar pula bahaya pada gedung tersebut. Indeks perkiraan bahaya petir dapat dilihat pada tabel Indeks 2.2:

Tabel 2.2 Indeks Bahaya berdasarkan penggunaan bangunan

Penggunaan dan Isi	Indeks 2.2
Bangunan Biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	-10
Bangunan dan isi jarang dipergunakan seperti danau ditengah sawah,gudang,menara atau tiang metal	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal orang	1
Bangunan yang isinya cukup penting (menara air,kantor,pabrik dsb)	2
Bangunan berisi banyak orang seperti pusat perbelanjaan ,tempat ibadah dll	3
Instalasi Gas, minyak, SPBU,Rumah sakit, dsb	5

Bangunan yang berisi bahan mudah meledak	15
--	----

(Sumber: PUIPP 1983).

Tabel 2.3 Indeks Bahaya Berdasarkan Konstruksi Bangunan

Konstruksi Bangunan	Indeks 2.3
Seluruh bangunan terbuat dari logam (mudah menyalurkan arus listrik)	0
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau kerangka besi dengan atap logam	1
Bangunan dengan konstruksi beton bertulang atau kerangka besi dengan atap bukan logam	2
Bangunan Kayu dengan atap bukan logam	3

(Sumber : PUIPP 1983)

Tabel 2.4 Indeks Bahaya Berdasarkan Tinggi Bangunan

Tinggi Bangunan (m)	Indeks 2.4
≤ 6	0
≤ 12	2
≤ 17	3
≤ 25	4
≤ 35	5
≤ 50	6
≤ 70	7
≤ 100	8
≤ 140	9
≤ 200	10

(Sumber : PUIPP 1983)

Tabel 2.5 Indeks Bahaya Berdasarkan Keadaan Bangunan

Situasi Bangunan	Indeks 2.5
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai tiga perempat tinggi bukit atau pegunungan sampai 1000 m	1
Di puncak gunung atau pegunungan lebih besar dari 1000 m	2

(Sumber : PUIPP 1983)

Tabel 2.6 Indeks Bahaya Berdasarkan Hari Guruh

Hari Guruh pertahun	Indeks 2.6
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
128	6
256	7

Tabel 2.7 Indeks Perkiraan Bahaya Sambaran Petir menurut PUIPP

R= A+B+C+D+E	Perkiraan Bahaya (Resiko)	Pengamanan
< 11	Diabaikan	Tidak Perlu
= 11	Kecil	Tidak Perlu
12	Tidak Begitu Kecil	Sedikit dianjurkan
13	Agak besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
> 14	Sangat Besar	Sangat Perlu

(PUIPP, Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir, 2000) Persyaratan Umum Instalasi Penangkal Petir , Standar Nasional Indonesia (SNI, Standar Nasional Indonesia Sistem Pentanahan , 2004) , dan (IEC, 1993) tingkat proteksi dapat ditentukan dengan frekuensi sambaran petir langsung (N_d) yang diperkirakan ke struktur yang diproteksi dan frekuensi sambaran petir tahunan setempat (N_c).

$$E \geq 1 - N_c / N_d \dots \dots \dots (2.15).$$

Tabel 2.8 Efisiensi sistem Proteksi Petir

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

(Sumber : SNI 03-7015 (2004))

Setelah melihat Tabel efisiensi sistem proteksi petir, dapat ditentukan sudut proteksi (α°) untuk penempatan suatu terminasi udara, radius bola yang dipakai, maupun ukuran jala seperti tabel berikut (SNI, Standar Nasional Indonesia Sistem Pentanahan , 2004).

Pemilihan besar sudut dapat dihitung jari-jari (r) dengan persamaan :

$$\tan \alpha = r / h \dots \dots \dots (2.16).$$

Tabel 2.9 Tingkat Proteksi

Tingkat Proteksi	R(m)	20 α°	30 α°	45 α°	60 α°	Lebar Jala(m) Mesh Width (m)
	h (m)	20	30	45	60	
I	20	25	0	0	0	5
II	30	35	25	0	0	10
III	45	45	35	25	0	15
IV	60	55	45	35	25	20

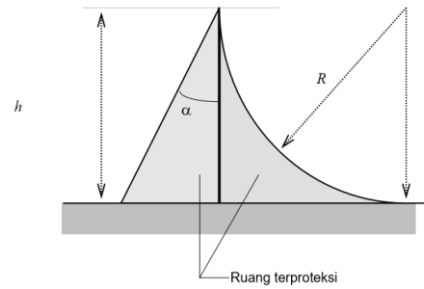
(Sumber : SNI 03-7015 (2004))

Dimana

$\alpha = \theta$ = Besar sudut perlindungan berdasarkan tabel 2.8

r = Jari-jari zona proteksi (m)

h = Tinggi dari tanah ke penangkal petir ujung/Finial (m)



Gambar 2.17 Sudut dan ruang proteksi petir

Benda yang ada di dalam ruang proteksi akan terhindar dari sambaran petir. Sebaliknya benda yang berada diluar ruang proteksi tidak akan terlindungi oleh proteksi petir (SNI, Sistem Proteksi Petir Pada Bangunan, 2004)