

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

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

1. Jurnal yang ditulis Abdul Syakur, atau Yunningtyastuti (2006) dengan judul “Sistem Proteksi Penangkal Petir pada Gedung Widya Puraya” yang berisi tentang tentang jarak sistem pentanahan sebagai proteksi yang dapat melindungi Gedung Widya Puraya dari sambaran petir.
2. Jurnal yang ditulis Riza Ariesta, Dikpride Despa atau Herri Gusmedi, Lukmanul Hakim dengan judul “Studi Analisis Sistem Pentanahan Eksternal pada Gedung Unit Pelaksana Teknis Teknologi Informasi dan Komunikasi Universitas Lampung” yang telah melakukan penelitian tentang bagaimana menghitung kebutuhan sistem pentanahan eksternal dalam penanganan gangguan sambaran petir. Pada jurnal ini, menggunakan standar SNI dengan metode konvensional sudut proteksi yang mana didapat kesimpulan bahwa gedung tersebut memerlukan proteksi tingkat III dan sistem proteksi petir yang telah terpasang sudah sesuai standar.
3. Jurnal yang ditulis Hotdin Peterson atau Fri Murdiya dengan judul “Sistem Proteksi Eksternal pada Gedung Baru Fakultas Teknik Universitas Riau” yang mengkaji tentang bagaimana sistem proteksi petir eksternal pada Gedung baru Fakultas Teknik Universitas Riau, dan juga bagaimana tingkat kebutuhan pemasangan sistem proteksi pada sebuah bangunan yang berdasarkan IEC 1024-1-1.
4. Laporan Akhir dari Abdullah (2015) yang berjudul “Analisa *Overload Ground Wire* sebagai Perlindungan terhadap Gangguan Surja Petir pada Gardu Induk 150 kV” yang membahas tentang bagaimana

mengatasi gangguan petir menggunakan sistem pentanahan berupa kawat tanah (*overhead ground wire*) dan menganalisis persentase kegagalan proteksi terhadap sambaran petir dengan metode konvensional yang sesuai dengan PUIPP dan IEC serta sudut proteksi petir.

## **2.2. Landasan Teori**

Sistem pentanahan atau *grounding system* merupakan suatu rangkaian yang bertujuan untuk mengamankan peralatan-peralatan instalasi listrik dalam gedung dapat terhindar dari bahaya sambaran petir dari arus lebih dari lonjakan sambaran petir yang mana nantinya arus lonjakan dari sambaran petir tersebut akan langsung dibumikan (*grounding*).

### **2.2.1 Petir**

Sebelumnya fenomena petir telah diketahui jauh pada saat masa prasejarah di mana orang-orang pada masa itu mengaitkan fenomena petir dengan aktivitas supranatural. Penelitian mengenai fenomena petir diawali dengan hasil temuan Benjamin Franklin mengenai hubungan antara listrik dan petir. Franklin menemukan bahwa adanya kesamaan antara sambaran yang dihasilkan dari sambaran petir dengan percikan kecil dari listrik. Dan dari kedua percikan tersebut menghasilkan cahaya dan suara tertentu yang juga keduanya menjalar melalui jalur zig-zag.

Sedangkan, definisi petir menurut Pabla (1981) dan Hidayat (1991), petir merupakan suatu fenomena listrik secara alamiah dalam atmosfer bumi yang tidak tahu dan tidak dapat dicegah kapan waktunya, petir terjadi akibat terlepasnya muatan listrik positif (proton) dan listrik negatif (elektron) di dalam awan. Pada umumnya, fenomena ini terjadi ketika muatan negatif terkumpul di bagian bawah dan menyebabkan muatan positif terinduksi dari atas permukaan tanah, sehingga terbentuk medan listrik antara tanah dan awan. Yang mendasari proses terjadinya petir terdapat dua teori, yaitu:

#### a. Proses Ionisasi

Sambaran petir adalah suatu fenomena alam yang terjadi akibat dari proses terlepasnya muatan listrik (*Electrical Discharge*) di awan, dikarenakan di awan ada ion-ion positif (+) dan ion-ion negatif (-) yang berkumpul, ion-ion listrik tersebut muncul akibat dari awan yang saling bergesekan dan akibat dari proses ionisasi tersebut membuat perubahan bentuk zat cair (air) menjadi zat gas dan sebaliknya, bahkan dari bentuk zat padat (es) menjadi zat cair (air). Ion bebas yang terdapat di permukaan awan, akan bergerak mengikuti pergerakan hembusan angin. Awan-awan tersebut akan berkumpul pada suatu tempat, dan jika awan bermuatan ion tadi memiliki beda potensial yang cukup besar, maka akan terjadi sambaran petir pada permukaan bumi.

#### b. Gaya Gesek Awan

Bermula dari pergerakan awan akan mengikuti pergerakan arah angin yang berhembus, proses Bergeraknya awan ini akan terjadi ketika ada gesekan antara awan-awan satu dengan yang lainnya, yang mana nantinya akan memunculkan elektron-elektron bebas yang dapat mengisi penuh permukaan awan. Secara sederhana, proses ini dapat disimulasikan seperti pada sebuah potongan kertas yang tertarik oleh penggaris, akibat dari proses gesekan yang ditimbulkan antara penggaris dengan rambut.

Di suatu saat, ketika awan-awan ini berkumpul di suatu tempat, pada saat inilah sambaran petir dimungkinkan akan berlangsung, karena ion-ion elektron bebas ini saling berikatan satu dengan yang lainnya. Sehingga memiliki beda potensial yang cukup besar untuk menyambar permukaan bumi.

Ancaman ketika terjadi sambaran petir pada peralatan-peralatan instalasi listrik harus diwaspadai, dan usaha dalam melindungi instalasi yang terpasang, bangunan yang berisikan peralatan instalasi elektronik seperti pada bank, industri, militer,

instalasi penting, bahkan kewaspadaan perorangan pun elektronik harus ditingkatkan. Untuk tempat yang jauh lebih dari 1,5 km, sambaran petir dapat merusak berbagai peralatan elektronika dan sistem elektronika, seperti telekomunikasi kantor, instrumentasi dan peralatan lainnya.

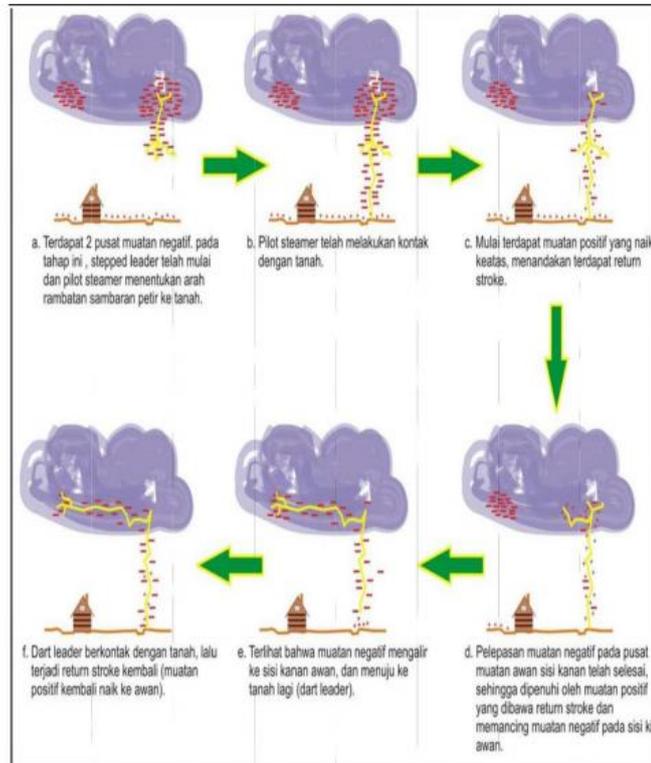
### 2.2.2 Proses Terjadinya Petir

Pada lapisan atmosfer, terdapat berbagai macam gas penyusun udara yang ada di lapisan atmosfer, diantaranya *Nitrogen* (78,08%), *Oksigen* (20,95%), *Argon* (0,93%), *Karbondioksida* (0,0340%), *Neon* (0,0018%), *Helium* (0,00052%), *Ozon* (0,000006%), *Hydrogen* (0,00005%), *Krypton* (0,00011%), *Metan* (0,00015%) dan *Xenon* yang kecil sekali (Susilo Prawirowardoyo: 1996). Dari berbagai unsur yang ada di atmosfer, yang paling mendominasi adalah gas nitrogen dan oksigen. Karena ionisasi udara oleh radiasi energi tinggi dari sinar kosmik dan gas radioaktif yang dihasilkan bumi, maka setiap sentimeter kubik udara pada permukaan tanah terdapat kurang lebih 10 elektron bebas. Secara umum, udara merupakan insulator yang baik dan dapat mempertahankan sifatnya tersebut sampai pada batas nilai  $3 \times 10^6$  V/m pada kondisi atmosfer standar ( $T=293$  K dan  $P= 1$  atm). Saat medan listrik melalui batas tersebut, udara berubah sifat menjadi media konduktor sehingga arus listrik dapat mengalir dalam bentuk percikan. (Cooray: 2015).

Dalam proses terjadinya sambaran petir, pelepasan sambaran petir diawali dengan pelepasan perintis atau *stepped downward leader* (Gambar 2.1a). Gerakan ke bawah ini bertahap sampai dekat ke permukaan tanah, sehingga muatan positif di permukaan tanah akan terinduksi oleh muatan negatif yang dibawa oleh *stepped downward leader* tersebut, terutama untuk benda-benda yang terlihat menonjol dari permukaan tanah, yang mengakibatkan beda tegangan antara dasar awan dengan tanah semakin besar.

Jika tegangan awan dan tanah memiliki perbedaan tegangan yang cukup besar, maka yang terjadi adalah muatan negatif elektron dari awan akan terlepas ke permukaan tanah dan saat itulah mulai lintasan (*steamer*) pelepasan muatan yang biasanya disebut lintasan pandu (*pilot steamer*) dari awan ke permukaan tanah (Gambar 2.1b). Ketika kedua muatan yang terakumulasi ini saling tarik menarik, maka dalam jumlah yang besar muatan positif akan bergerak ke atas kemudian menerima gerakan *stepped downward leader* yang bergerak ke bawah, akhirnya akan terjadi kontak pertemuan antara keduanya. Muatan positif yang bergerak ke atas tersebut membentuk sebuah lintasan (*streamer*) yang menuju ke atas (*upward moving streamer*), atau yang biasa disebut sebagai sambaran balik (*return stroke*) yang bertujuan untuk menyeimbangkan beda potensial (Gambar 2.1c dan 2.1d).

Apabila arus dari sambaran balik telah berhenti, dan ternyata di bagian lain dari awan masih ada muatan yang cukup untuk sambaran berikutnya, maka terjadilah sambaran yang kedua. Secara langsung, sambaran yang kedua ini akan mengalir dari awan ke tanah melalui lintasan (*streamer*) yang telah terbentuk dari sambaran pertama, tanpa adanya percabangan. Pada sambaran kedua ini biasanya disebut juga sebagai pelopor panah (*dart leader*), yang mana diikuti bersamaan dengan sambaran balik (*return stroke*) yang kedua (Gambar 2.1e). Sambaran pelopor panah (*dart leader*) dan sambaran balik (*return stroke*) yang mengikutinya disebut dengan sambaran urutan (*multiple stroke*) (Gambar 2.1f).



Gambar 2.1 Mekanisme terjadinya petir

### 2.2.3 Hari Guruh

Mengingat letak garis geografis di Indonesia yang dilalui garis khatulistiwa menyebabkan Indonesia beriklim tropis, yang mengakibatkan Indonesia memiliki hari guruh rata-rata per tahun sangat tinggi.

Menurut pengertian dari *World Meteorologi Organzation* (W.M.O) bahwa hari guruh adalah hari dimana terdengar guntur paling sedikit satu kali dalam jarak kira-kira 15 km atau lebih dari stasiun pengamatan. Hari guruh ini juga dapat disebut hari guntur (*thunder stormdays*).

Menurut hasil data pantauan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) yang menunjukkan ada beberapa wilayah di Indonesia yang mempunyai jumlah hari guruh per tahunnya yang cukup tinggi, antara lain yaitu Palangkaraya (Kalimantan Tengah), sebagian wilayah Sumatra Utara, daerah Jawa Barat, sebagian wilayah Sulawesi Selatan yang mempunyai hari guruh lebih dari 200 hari per tahun. Menurut

Stasiun Geofisika Yogyakarta, bahwa untuk Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 2018 jumlah dari hari guruh per tahunnya mencapai 46 per tahun. Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi jumlah hari guruh yang tinggi pada suatu wilayah, yaitu curah hujan yang tinggi.

#### **2.2.4 Surja Petir**

Menurut Mardi, Dedy (2009) bahwa sambaran petir dapat menyebabkan surja petir yang merupakan salah satu faktor yang menimbulkan tegangan lebih sementara pada saluran atau sistem instalasi listrik. Surja petir adalah gejala tegangan lebih sementara yang disebabkan oleh sambaran petir yang mengenai suatu sistem kelistrikan baik langsung maupun tidak langsung. Maka dari itu diperlukan sistem perlindungan terhadap gangguan petir untuk Gedung Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

#### **2.2.5 Jenis-jenis Petir**

Telah disebutkan sebelumnya bahwa proses terjadinya sambaran petir yang dipengaruhi pembentukan dan pengumpulan muatan di awan begitu banyak dan tak pasti. Ditambah dengan kondisi fluktuatif di atmosfer, sehingga proses terjadinya sambaran petir bisa juga berbeda-beda.

Misalnya, muatan yang bergerak secara horizontal yang terjadi muatan tersebut tidak akan terpisah sehingga akan menimbulkan pelepasan muatan diantara awan dengan awan atau dalam awan itu sendiri. Atau mungkin saja proses pemisahan muatannya terjadi secara sebaliknya, sehingga arah perubahan atau petirnya juga terbalik.

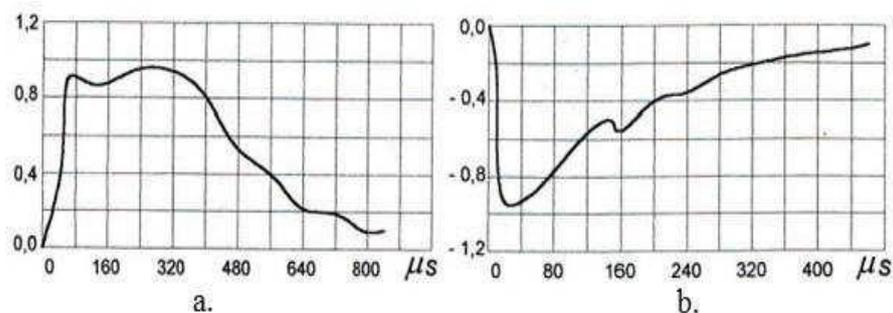
Secara garis besar, jenis-jenis petir dapat dikategorikan dalam beberapa macam, yaitu:

- a. Berdasarkan polaritas muatan:
  - 1) Muatan positif.

- 2) Muatan negatif.
- b. Berdasarkan arah sambaran:
  - 1) Arah ke bawah (objek atau bumi), disebut *downward lightning*.
  - 2) Arah ke atas (awan), disebut *upward lightning*.
- c. Berdasarkan jenis sambaran:
  - 1) Sambaran dalam awan (*intra cloud lightning*).
  - 2) Sambaran antar awan (*inter cloud lightning*).
  - 3) Sambaran awan ke bumi (*cloud to ground lightning*).

### 2.2.6 Bentuk Arus pada Gelombang Petir

Bentuk arus pada gelombang petir digambarkan dengan besarnya arus, kecuraman (kenaikan arus), serta lamanya kejadian (durasi gelombang), dinyatakan oleh waktu ekor. Pada kenyataannya, bentuk dari gelombang arus petir tidak sama persis antara satu dengan yang lainnya. Bukan saja antara satu kejadian dengan kejadian lainnya, akan tetapi pada satu kejadian petir dengan sambaran ganda, bentuk gelombang arus petirnya bisa berbeda yang cukup lumayan, antara sambaran pertama dengan sambaran selanjutnya. Kejadian seperti itu terjadi terutama pada petir negatif yang sebagian besar selalu ada pada sambaran selanjutnya (*subsequent stroke*).



*Gambar 2.2 Osilogram bentuk gelombang arus petir*

(a) Petir positif

(b) Petir Negatif

### 2.2.7 Frekuensi Sambaran Petir

Menurut IEC 1024-1-1, bahwa nilai frekuensi sambaran petir yang mengenai struktur bangunan yang dilindungi ( $N_d$ ) dapat dihitung dengan perkalian kerapatan petir/kilat ke bumi per tahun ( $N_g$ ), dan pada luas daerah perlindungan yang efektif pada bangunan ( $A_e$ ):

$$N_d = N_g \times A_e \dots\dots\dots(2.1)$$

Yang dapat mempengaruhi kerapatan pada sambaran petir ke bumi yaitu hari guruh rata-rata per tahun di wilayah tersebut. Hubungan tersebut seperti yang ditunjukkan sebagai berikut:

$$N_g = 4.10^{-2} \times T^{1,26} \dots\dots\dots(2.2)$$

Sedangkan untuk besar  $A_e$  atau luas wilayah perlindungan bangunan sebagai berikut:

$$A_e = [2(p+1) \times 3h] + [3,14 \times 9h^2] \dots\dots\dots(2.3)$$

Sehingga dari substitusi persamaan (2.2) dan (2.3) ke persamaan, maka akan menjadi sebagai berikut:

$$N_d = 4.10^{-2} \times T^{1,26} \times [2(p+1) \times 3h] + [3,14 \times 9h^2] \dots\dots(2.4)$$

Dengan keterangan sebagai berikut:

- p = Panjang bangunan (meter)
- l = Lebar bangunan (meter)
- h = Tinggi atap gedung (meter)
- T = Hari guruh wilayah per tahun
- $N_g$  = Kerapatan sambaran petir ke tanah
- $A_e$  = Luas daerah yang memiliki angka sambaran  $N_d$  ( $\text{km}^2$ )
- $N_d$  = Nilai frekuensi sambaran petir yang mengenai struktur bangunan yang dilindungi

### **2.2.8 Akibat dari Sambaran Petir**

Akibat yang dapat di timbulkan dari sambaran petir jika sistem pentanahan tidak sesuai standar, diantaranya:

1. Kebakaran yang dapat mengakibatkan susah bernafas atau cidera.
2. Bahaya dari struktur, misalnya reruntuhan bangunan yang dapat menimpa akibat sambaran petir.
3. Kondisi tidak aman, seperti adanya kebocoran atap yang dapat menyebabkan bahaya listrik, kegagalan atau kerusakan sistem proses keamanan dan peralatan instalasi.

Risiko bagi struktur dan peralatan internal termasuk:

1. Kebakaran ataupun ledakan yang dipicu oleh panas dari sambaran petir.
2. Kebocoran atap karena panas plasma di titik sambaran petir.
3. Kerusakan kegagalan sistem listrik dan elektronik internal.

### **2.2.9 Prinsip Dasar Instalasi Listrik**

Persyaratan dasar ini dimaksudkan untuk menjamin keselamatan manusia, keamanan harta benda, dan lingkungan dari bahaya serta kerusakan yang timbul akibat dari instalasi listrik, seperti arus kejutan dan suhu berlebih. Persyaratan dasar tersebut memuat ke dalam pasal antara lain proteksi untuk keselamatan, proteksi perlengkapan, dan instalasi, perancangan, pemilikan dan perlengkapan listrik, pemasangan dan verifikasi awal instalasi listrik dan pemeliharaan.

Beberapa prinsip dasar yang harus menjadi pertimbangan pada pemasangan suatu instalasi listrik. Tujuannya adalah agar instalasi listrik yang dipasang dapat digunakan secara optimal. Adapun prinsip dasar tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Keandalan, yang dimaksud andal adalah andal secara mekanik maupun secara elektrik (instalasi bekerja pada nilai

nominal tanpa timbul kerusakan), dan juga mengenai ketepatan pengaman untuk menanggapi jika terjadi gangguan.

- b. Ketercapaian, yang dimaksud adalah pemasangan peralatan instalasi yang mudah dijangkau oleh pengguna.
- c. Ketersediaan, yang dimaksud adalah kesiapan suatu instalasi dalam melayani kebutuhan, baik daya, peralatan, maupun perluasan instalasi.
- d. Keindahan, yang dimaksud adalah kerapian pemasangan peralatan sesuai peraturan yang berlaku.
- e. Keamanan, yang dimaksud adalah keamanan secara elektrik untuk manusia, hewan, dan barang lainnya.
- f. Ekonomis, yang dimaksud adalah biaya yang dikeluarkan untuk instalasi harus seminim mungkin, dengan kualitas yang baik.

### **2.2.10 Komponen Pengaman Instalasi Listrik**

Dalam menentukan komponen listrik harus diperhatikan spesifikasi teknis yang handal dan yang sesuai standar persyaratan di PUIL 2000, karena jika menentukan bahan yang tidak sesuai dengan standar yang ada maka akan berakibat fatal.

#### **2.2.9.1 Pemutus Daya**

Salah satu faktor teknis yang perlu diperhatikan dalam penyediaan dan penyaluran daya listrik adalah kualitas dari daya itu sendiri. Faktor kualitas daya ini meliputi stabilitas tegangan, kontinuitas pelayanan, keandalan pengaman, kapasitas daya yang memenuhi (sesuai) kebutuhan sebagainya.

Dalam hal keandalan pengaman tidak berarti bahwa penyediaan daya yang baik adalah penyediaan daya yang tidak pernah mengalami gangguan. Sebaliknya pengaman yang baik

adalah jika setiap terjadi gangguan, maka alat-alat pengaman akan merespon untuk segera memutuskan hubungan (*trip*) sehingga bahaya terbakar atau bahaya yang lain dapat dihindarkan.

Jenis gangguan yang sering kali terjadi pada suatu sistem yang bekerja normal adalah gangguan beban lebih di mana arus yang lewat pada peralatan pembatas arusnya melebihi batas nominalnya (*rating*). Sedangkan jenis gangguan lain yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat. Secara umum arus gangguan yang terjadi pada gangguan ini jauh lebih besar dari *rating* nominalnya. Adapun fungsi dari pemutus daya yaitu:

- a. Isolasi, berfungsi untuk memisahkan isolasi dari catu daya listrik untuk pengaman.
- b. Proteksi, berfungsi sebagai pengaman kabel peralatan listrik, manusia dari gangguan yang terjadi.
- c. Kontrol, berfungsi untuk membuka dan menutup rangkaian dalam mengontrol dan perawatan.

#### **2.2.9.2 Circuit Breaker (CB)**

Fungsi dari komponen ini adalah untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian pada saat berbeban atau tidak berbeban serta akan membuka dalam keadaan terjadi gangguan arus lebih atau arus hubung singkat. Dengan demikian, berbeda dengan sakelar biasa, *circuit breaker* (CB) dapat berfungsi sebagai sakelar dalam kondisi normal maupun tidak, serta dapat memutus arus lebih dan arus hubung singkat. *Circuit breaker* (CB) dapat dipasang untuk dua tujuan dasar, yaitu:

1. Berfungsi selama kondisi pengoperasian normal, untuk menghubungkan maupun memutus rangkaian dalam keadaan berbeban dengan tujuan

untuk pengoperasian dan perawatan dari rangkaian maupun bebannya.

2. Bekerja selama kondisi operasional yang tidak normal, misalnya jika terjadi hubung singkat ataupun arus lebih.

Arus lebih maupun arus hubung singkat dapat merusak peralatan dan instalasi suplai daya jika dibiarkan mengalir di dalam dalam kondisi yang cukup lama.

Jenis *circuit breaker* (CB) yang banyak digunakan untuk perlengkapan instalasi listrik yaitu:

- a. *Maintenance Circuit Breaker* (MCB)

*Maintenance Circuit Breaker* (MCB) ini adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCB merupakan kombinasi fungsi *fuse* dan fungsi pemutus arus. MCB digunakan sebagai pengganti *fuse* yang dapat juga untuk mendeteksi arus lebih.

- b. *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

*Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB) ini adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, baik arus nominal maupun arus gangguan. MCCB mempunyai unit trip, yang bisa di geser. Jika digeser ke  $I_p$  (merupakan pengaman arus lebih) dan untuk  $I_m$  (merupakan pengaman terhadap arus hubung singkat).

- c. *Air Circuit Breaker* (ACB)

*Air Circuit Breaker* (ACB) ini adalah pengaman yang digunakan sebagai pemutus arus rangkaian, kerjanya hampir sama seperti MCCB, tetapi pada ACB pemutusny menggunakan udara.

### **2.2.9.3 Sakelar**

Sakelar biasanya digunakan untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik. Cara kerja sakelar yaitu pada saat sakelar akan membuka untuk memutuskan rangkaian, sebuah pegas akan ditegangkan. Pegas ini menggerakkan sakelar sehingga dapat memutuskan rangkaian dalam waktu singkat. Jadi, kecepatan pemutusan ditentukan oleh pegas dan tidak tergantung pada pelayanan. Karena cepatnya waktu pemutusan, maka kemungkinan timbulnya busur api antara kontak-kontak pemutusan sangat kecil. Pemasangan sakelar ini biasanya 1,5 meter di atas lantai untuk menghindari jangkauan anak-anak.

Sakelar harus memenuhi beberapa persyaratan, antara lain sebagai berikut:

- a. Harus dapat melayani secara aman tanpa memerlukan alat bantu.
- b. Dalam keadaan terbuka, bagian-bagian sakelar atau pemisah yang bergerak harus bertegangan.
- c. Harus tidak dapat menghubungkan dengan sendirinya karena pengaruh gaya berat.
- d. Kemampuan sakelar sekurang-kurangnya harus sesuai dengan daya alat yang dihubungkan, tetapi tidak boleh kurang dari 5A.

### **2.2.11 Definisi Sistem Pentanahan**

Sistem pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900, yang mana ditahun-tahun sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak ditanahkan, dikarenakan ukuran kapasitas penggunaan sistem tenaga listrik masih terlalu kecil dan tidak terlalu membahayakan.

Menurut Prih Sumardjati (2015), bahwa sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan

peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian esensial dari sistem tenaga listrik.

Menurut Pabla, As dan Abdul Hadi (1991:154), agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

- a. Membuat jalur dengan resistansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif.
- b. Dapat menangkal dan menyalurkan arus gangguan yang berulang akibat surja hubung (*surge currents*).
- c. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk ketahanan umur peralatan yang terlindungi.
- d. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

### **2.2.12 Fungsi Sistem Pentanahan**

Fungsi sistem pentanahan secara umum, adalah untuk melindungi peralatan-peralatan dan manusia yang ada di dalam bangunan terhadap sambaran petir. Di samping itu, ada juga fungsi dari sistem pentanahan (*grounding system*) diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Perlindungan dari tegangan tinggi

Sistem pentanahan (*grounding system*) yang terpasang pada instalasi listrik, baik di rumah maupun di gedung-gedung bertingkat. Sistem pentanahan (*gounding system*) ini mampu melindungi atau menghindari kerusakan yang disebabkan oleh tegangan tinggi sambaran petir.

b. Mengamankan dari arus lebih

Sistem pentanahan (*grounding system*) disamping sebagai pelindung dari tegangan lebih, juga berfungsi sebagai pengaman peralatan dan bangunan dari arus lebih yang ditimbulkan oleh sambaran petir ataupun dari gangguan arus lebih lainnya. Yaitu dengan pemasangan pentanahan dengan tahanan yang rendah, yang dihubungkan dengan peralatan instalasi listrik, dan benda konduktif lainnya.

c. Pengurangan *Noise* Listrik

Sistem pentanahan (*grounding system*) yang baik, adalah sistem pentanahan (*grounding system*) yang dapat mengurangi *noise*/kebisingan pada listrik, dan memastikan:

- 1) Beda tegangan antar peralatan yang saling berhubungan dapat diminimalkan.
- 2) Dapat meminimalkan impedansi antara titik *ground* sinyal di seluruh bangunan.
- 3) Dapat meminimalkan efek ganda antara medan magnet dan medan listrik.

### **2.2.13 Tujuan Sistem Pentanahan**

Menurut Sumardjati (2005:159), adapun tujuan dari sistem pentanahan (*grounding system*) secara umum adalah sebagai berikut:

- a. Melindungi peralatan-peralatan elektronik maupun instalasi listrik dari sambaran petir.
- b. Menjaga keselamatan seseorang dari tegangan sentuh, dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal maupun tidak, dan tegangan langkah.
- c. Mengalirkan tegangan lebih dari sambaran petir ke tanah.
- d. Memperkecil terjadinya lompatan bunga api (*flashover*) dan

menstabilkan tegangan.

Menurut Hatauruk (1991:125), bahwa tujuan dari sistem pentanahan adalah sebagai berikut:

- a. Menjaga orang yang ada di daerah tersebut dari tegangan kejut listrik yang berbahaya.
- b. Untuk meminimalisir timbulnya arus tertentu, baik besarnya arus maupun lamanya dalam keadaan gangguan pada tanah tanpa menimbulkan ledakan atau kebakaran pada bangunan atau peralatan yang ada didalamnya.
- c. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

Sedangkan menurut IEEE Std. 142<sup>TM</sup>-2007, tujuan dari sistem pentanahan (*system grounding*) adalah:

- a. Membatasi besarnya tegangan terhadap pembumian agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
- b. Menyediakan jalur untuk aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara sistem konduktor dan bumi. Pendeteksian ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.

#### **2.2.14 Sistem Pentanahan Eksternal dan Internal**

Menurut guru besar bidang ilmu teknik fisika, Universitas Nasional (Unas) Prof. Djuheri, bahwa kilatan petir mengandung muatan listrik 100 juta volt. Energi sebesar itu biasa digunakan untuk memanaskan suhu udara sampai 40 ribu derajat Celsius. Bisa dibayangkan jika petir tersebut menyambar manusia.

Sambaran petir dibagi menjadi dua, yaitu sambaran langsung (dekat) dan sambaran tidak langsung (jauh). Sambaran langsung terjadi karena arus impuls yang mengalir ke tanah, sedangkan untuk sambaran tidak langsung terjadi karena adanya pancaran energi dari gelombang

elektromagnetiknya atau *lightning electromagnetic pulse*.

Berdasarkan tempatnya, sistem proteksi yang sempurna, dibagi menjadi 2, yaitu:

#### **2.2.12.1. Sistem Pentanahan Eksternal**

Sistem pentanahan eksternal ini adalah sistem pengamanan instalasi listrik dan peralatan-peralatan yang ada diluar gedung bertingkat, yang berfungsi untuk menangkap arus petir menuju ke sistem pentanahan sebagai ujung tombak penangkap muatan listrik pada petir yang berada pada tempat yang tinggi. Pada sistem pentanahan eksternal ini terdiri dari tiga bagian, yaitu:

a. *Air Terminal*

*Air Terminal* merupakan bagian dari sistem proteksi petir eksternal yang bertujuan untuk menangkap kilatan petir. *Air terminal* harus dipasang pada titik tertinggi dari suatu bangunan atau peralatan yang dilindungi dari sambaran petir.

b. *Down Conductor*

*Down conductor* merupakan salah satu sistem proteksi petir yang bersifat konduktor, yang menghubungkan antara *air terminal* dengan *earth termination*. Jadi, pada bagian ini berfungsi untuk menyalurkan arus petir dari *air termination* ke *earth termination*.

c. *Earth Termination*

*Earth termination* adalah elektroda pentanahan, bagian yang dimaksudkan sebagai jalan untuk pembuangan arus ke tanah, yaitu berbentuk rod, mesh, plat dan sebagainya, yang

ditanam dalam tanah.

#### **2.2.12.2. Sistem Pentanahan Internal**

Sistem pentanahan internal ini adalah sistem pengamanan pada sistem elektronika yang ada di dalam gedung bertingkat dari tegangan lebih yang ditimbulkan oleh induksi elektromagnetik akibat sambaran petir tidak langsung yang nantinya akan ditanahkan.

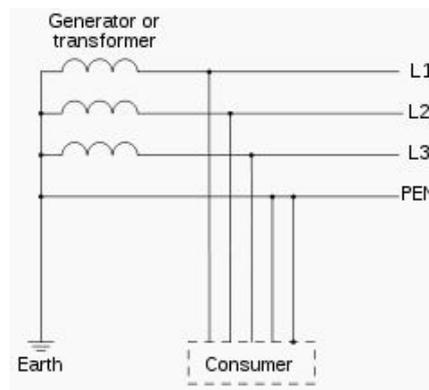
- a. *Arrester*: alat perlindungan terhadap tegangan lebih surja petir.
- b. *Shielding*: perlindungan pada konstruksi dinding dan lantai secara khusus agar induksi dari elektromagnetik dapat hilang.
- c. Penggunaan kabel optik sebagai pengganti kabel tembaga pada instalasi listrik, dikarenakan kabel optik tidak menimbulkan percikan kabel dan tidak menimbulkan induksi elektromagnetik.

#### **2.2.15 Macam-macam Sistem Pentanahan**

Dalam sistem pentanahan (*grounding system*) memiliki berbagai macam jenisnya. Dari berbagai macam jenis sistem pentanahan (*grounding system*) juga memiliki kelebihan maupun kekurangan. Dalam mendesain sistem instalasi listrik, pertama yang perlu dilakukan adalah menentukan tipe/macam pentanahan apa yang akan digunakan untuk instalasi tersebut. Berdasarkan standar IEEE std. 80, sistem pentanahan pada suatu instalasi terdapat beberapa macam sistem pentanahan yang dapat menjadi acuan, diantaranya sebagai berikut:

### 2.2.13.1. *Sistem Hantar Tanah dan Netral Disatukan (Terra Neutral-Combined/TN-C)*

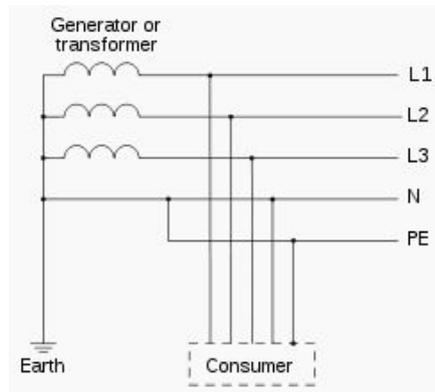
Pada skema sistem pentanahan ini, bagian hantaran netral dan hantaran pengaman disatukan menjadi satu titik secara keseluruhan, sehingga bagian netral pada instalasi listrik langsung terhubung dengan bagian netral sumber listrik.



*Gambar 2.3 Saluran tanah dan netral disatukan (TN-C)*

### 2.2.13.2. *Sistem Hantar Tanah dan Netral Disatukan dan Terpisah (Terra Neutral-Combined-Separated/TN-C-S)*

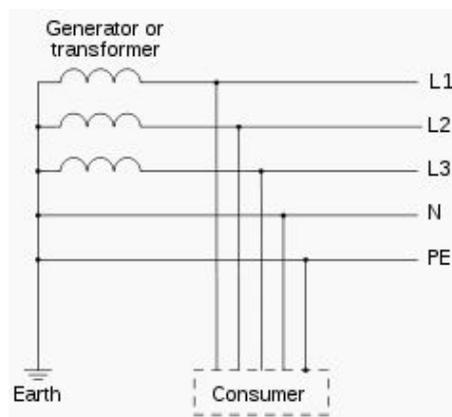
Pada skema sistem hantar tanah dan netral disatukan dan dipisah atau TN-C-S ini, mempunyai bagian hantaran netral dan hantaran pengaman disatukan menjadi satu titik dan terpisah dibagian sistem yang lain. Pada sistem ini, konsumen peralatan instalasinya tinggal dihubungkan dengan pentanahannya pada terminal (saluran) yang telah disediakan oleh sumber listrik. Adapun rangkaiannya seperti pada gambar 2.4.



*Gambar 2.4 Saluran tanah dan netral disatukan terpisah*

### **2.2.13.3. Sistem Hantar Tanah dan Netral-Dipisah (Terra Nutral-Separated/TN-S)**

Pada skema hantar tanah dan netral dipisah atau TN-S kali ini, hubungan antara bagian hantaran netral dan bagian hantaran pengamanan terpasang terpisah pada sistem. Seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.5.

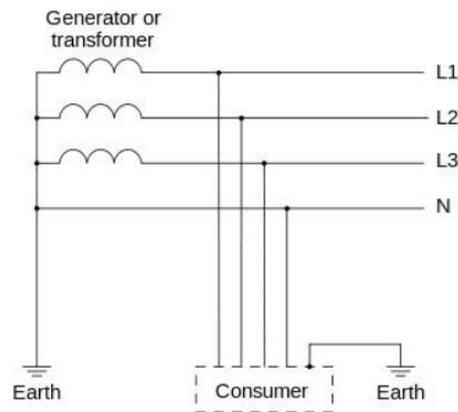


*Gambar 2.5 Saluran tanah dan netral dipisah (TN-S)*

### **2.2.13.4. Sistem Pentanahan dengan Hantaran Tanah dengan Tanah (Terra Terra/ TT)**

Pada sistem pentanahan jenis ini, posisi bagian hantaran netral pada sumber listrik tidak langsung terhubung dengan bagian hantaran pembumian netral pada instalasi peralatan konsumen. Namun, pada sistem ini konsumen harus

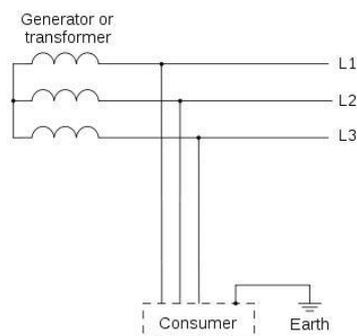
menyediakan sambungan ke pentanahan sendiri, yaitu dengan cara memasang elektroda pentanahan yang cocok untuk instalasi listrik tersebut. Seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Saluran pentanahan sistem tanah dengan tanah (TT)

#### 2.2.13.5. Sistem Pentanahan dengan Hantaran Tanah Terisolasi (Isolated Terre/IT)

Pada sistem pentanahan jenis ini, sumber listrik tidak terhubung ke pentanahan. Pada sistem ini, umumnya digunakan pada peralatan instalasi listrik yang sumbernya dari genset, seperti pada kereta api. Adapun skemanya seperti pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Saluran sistem tanah terisolasi (IT)

#### 2.2.16 Sistem Pentanahan pada Pengamanan Peralatan

Sistem pentanahan pada pengaman peralatan yaitu salah satu

penghubungan antara bagian-bagian peralatan instalasi listrik yang pada keadaan normal tidak dialiri arus. Tujuannya adalah untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu nilai yang aman untuk semua kondisi operasi normal maupun saat terjadi gangguan. Pentanahan ini juga mengamankan manusia dari tegangan langkah dan tegangan sentuh.

#### **2.2.12.1. Efek Tegangan Induksi Tegangan langkah**

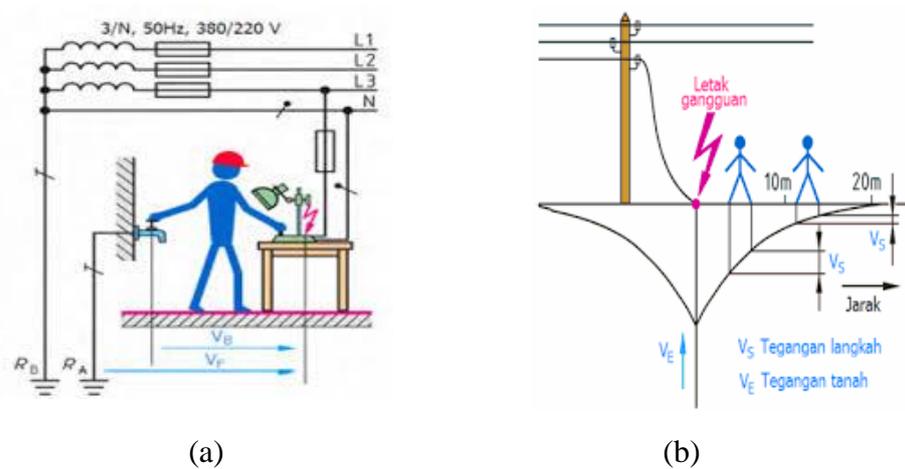
Manusia adalah salah satu bagian dari objek yang juga harus dilindungi, dalam hal ini selain gedung yang dilindungi, karyawan yang bekerja di gedung tersebut juga harus terlindungi baik dari sambaran langsung maupun tidak.

Tegangan pada kejadian tegangan langkah ini muncul karena adanya aliran arus bocor atau arus gangguan yang melewati tanah. Arus gangguan ini cukup tinggi terutama apabila arus mengalir dari tempat terjadinya gangguan kembali ke sumber (titik netral) melewati tanah yang mempunyai resistansi tanah yang cukup besar sehingga tegangan di permukaan tanah akan menjadi tinggi. Efek dari penyaluran arus petir yang nantinya akan terkena manusia tanpa sengaja atau bisa disebut terkena “kejut listrik” ketika berada di sekitar instalasi penyalur arus petir saat sistem proteksi petir ini sedang bekerja, bahkan tanpa disadari dalam keadaan menyentuh salah satu komponennya (biasanya penghantar penyalur).

Menurut Golde, seseorang yang terkena sambaran petir dapat dikelompokkan atas situasi dan kondisi pada saat insiden ini terjadi, yaitu :

- a. Sambaran samping, yaitu ketika petir menyambar suatu benda di bumi sedemikian sehingga ada sebagian arus yang melompat dari benda tersebut ke manusia yang berada di dekat benda tersebut.

- b. Tegangan langkah, yaitu ketika kondisi tanah di daerah tersebut memiliki nilai resistansi yang merata, sehingga arus petir yang menyambar akan menimbulkan beda potensial di tanah. Sehingga orang yang berada di daerah menimbulkan beda potensial antara dua kaki manusia.



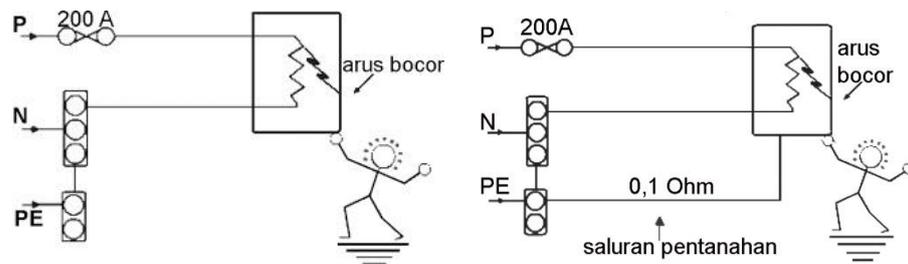
Gambar 2.8 Fenomena (a) tegangan sentuh dan (b) tegangan langkah

### 2.2.12.2. Efek Tegangan Sambaran Tegangan Sentuh Tidak Langsung

Sambaran tidak langsung atau sambaran induksi merupakan sambaran di titik lain yang letaknya jauh dari objek yang terkena pengaruh dari sambaran tersebut, sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada objek tersebut. Akibatnya, terjadi kegagalan isolasi pada peralatan maupun instalasi sehingga alat atau instalasi teraliri arus abnormal sehingga akan membahayakan manusia seperti yang terlihat pada gambar 2.8. Apabila tidak terpasang sistem pentanahan, tegangan bocor pada instalasi atau peralatan sama besarnya dengan tegangan pada peralatan atau instalasi itu sendiri (Prih Sumardjati, dkk).

Kondisi ini berlangsung selama alat pengaman arus lebih belum bekerja sehingga membahayakan manusia dan sekitar. Tetapi

apabila sistem instalasi dan peralatan diberi pentanahan yang benar, kemungkinan tegangan sentuh dibatasi pada tingkat aman yakni maksimal 50 V (Prih Sumardjati, dkk).



*Gambar 2.9 Kejadian tegangan sentuh tidak langsung*

Pada gambar 2.9 dapat dilihat antara kejadian sebelum dan sesudah ada sistem pentanahan yang terpasang pada alat yang terbungkus dengan bahan konduktif. Pada keadaan sebelum dipasangkan pentanahan, jika terjadi arus gangguan atau arus bocor maka peralatan mempunyai tegangan terhadap tanah sama dengan tegangan sumber (Prih Sumardjati, dkk).

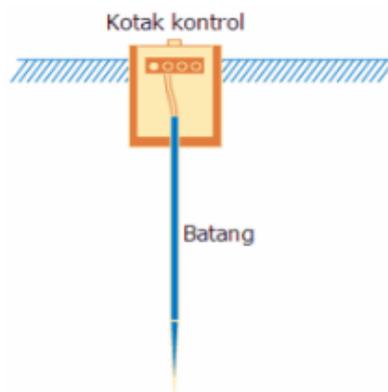
### **2.2.17 Jenis-jenis Elektroda Pentanahan**

Pada prinsipnya, pengukuran dari sistem pentanahan ada sebuah batang elektroda pentanahan. Batang elektroda yang dipilih harus mempunyai kontak yang bagus terhadap tanah. Berdasarkan IEEE Std. 142-2007, berikut ini akan dibahas tentang berbagai jenis-jenis elektroda pentanahan dan rumus-rumus perhitungan tahanan pentanahannya.

#### **2.2.13.1. Elektroda Berbentuk Batang (Rod)**

Elektroda berbentuk batang adalah elektroda pentanahan yang terbuat dari pipa atau besi baja yang ditancapkan secara lurus ke dalam tanah. Elektroda pentanahan ini merupakan elektroda pentanahan yang pertama kali. Secara

teknis, elektroda berbentuk batang ini mudah dalam pemasangannya, yaitu dengan cara menancapkan lurus ke dalam tanah. Di samping itu, elektroda berbentuk batang ini tidak memakan lahan yang luas. Elektroda jenis ini banyak digunakan di gardu induk.



Gambar 2.10 Elektroda berbentuk batang (rod)

Adapun contoh rumus tahanan pentanahan untuk elektroda batang tunggal:

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi LR} \left[ \ln \left( \frac{4LR}{AR} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

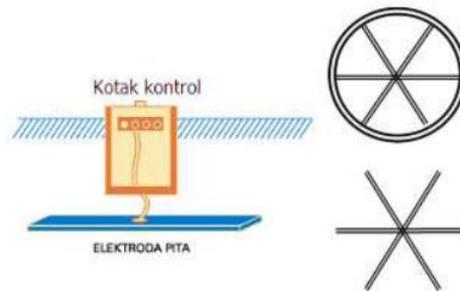
- RG = Resistansi pentanahan (Ohm)
- RR = Resistansi pentanahan berbentuk rod (Ohm)
- $\rho$  = Resistan jenis tanah (Ohm-meter)
- LR = Panjang elektroda (meter)
- AR = Diameter elektroda (meter)

Bila tahanan pembumian dikehendaki tidak dapat dicapai oleh satu elektroda batang, maka dua elektroda atau lebih dapat digunakan. Untuk jumlah elektroda yang sedikit cenderung mengikuti rumus tahanan hubungan paralel, yaitu:

$$\frac{1}{R_{total}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \dots + \frac{1}{R_{..n}} \dots\dots\dots(2.6)$$

### 2.2.13.2. Elektroda Berbentuk Pita

Elektroda berbentuk pita adalah elektroda pentanahan yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau hantaran pilin atau hantaran berpenampang bulat yang pada umumnya ditancapkan secara dalam. Pada proses penancangan akan bermasalah apabila penancangan itu berada dilapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping itu juga akan mempengaruhi untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah. Nilai resistansi pentanahan yang dihasilkan dari jenis ini dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya.



Gambar 2.11 Elektroda berbentuk pita

Contoh rumus perhitungan tahanan pentanahan:

$$RG = RW = \frac{\rho}{\pi Lw} \left[ \ln \left( \frac{2 Lw}{\sqrt{dw.zw}} \right) + \frac{1,4 Lw}{\sqrt{Aw}} - 5,6 \right] \dots (2.7)$$

Keterangan :

RG = Resistansi pentanahan (Ohm)

RW = Tahanan kisi-kisi (*grid*) kawat (Ohm)

P = Tahanan jenis tanah (Ohm-meter)

dw = Diameter kawat (meter)

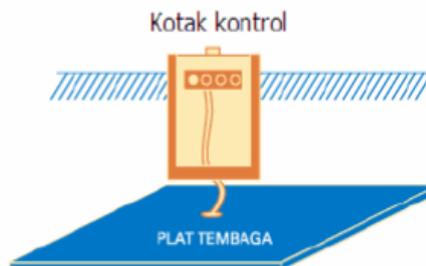
Lw = Panjang total *grid* kawat (meter)

Zw = Kedalaman penanaman (meter)

Aw = Luasan yang dicakup oleh *grid* (meter<sup>2</sup>)

### 2.2.13.3. Elektroda Berbentuk Pelat

Elektroda berbentuk pelat adalah salah satu jenis elektroda yang terbuat dari pelat konduktif (utuh atau berlubang) dari kawat kasa. Secara umumnya, elektroda jenis ini ditanam dalam tanah. Elektroda ini digunakan untuk mendapatkan resistansi pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda lainnya. Contoh dari elektroda berbentuk pelat ini seperti yang ada digambar 2.10.



Gambar 2.12 Elektroda berbentuk pelat

Contoh rumus dari elektroda berbentuk pelat ini adalah:

$$RG = RP = \frac{\rho}{2\pi Lp} \left[ \ln \left( \frac{8 Wp}{\sqrt{0,5 Wp + Tp}} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

RP = Tahanan pentanahan pelat (Ohm)

Wp = Lebar pelat (meter)

Lp = Panjang pelat (meter)

Tp = Tebal pelat (meter)

### 2.2.18 Tahanan Jenis Tanah

Faktor utama yang menentukan dalam pentanahan adalah tahanan jenis tanah. Tahanan jenis tanah adalah tahanan batang elektroda yang ditanam tegak lurus, dan biasanya elektrodanya berukuran  $\frac{3}{4}$  inchi

sampai 2 inchi, serta panjangnya antara 3 meter sampai 15 meter. Tahanan jenis tanah dapat berubah-ubah dan memiliki tahanan yang berbeda antara satu dengan yang lainnya.

Jika tahanan yang dimiliki suatu sistem pentanahan terlalu besar maka akan ada arus lebih yang mengakibatkan munculnya panas pada kabel, dan mengakibatkan kerusakan pada peralatan komponen instalasi listrik, terutama komponen elektronik yang sangat peka terhadap arus, serta tidak dapat pengesahan dan rekomendasi dari dinas ketenagakerjaan sebagai pengawas dari peraturan PER02/MEN/1989 dan perundangan tersebut dan juga dari pihak PLN selaku otoritas tertinggi kelistrikan di Indonesia. Hal ini bisa saja membuat perusahaan atau pun konsumennya dapat peringatan mengenai masalah tersebut.

Untuk mengurangi perbedaan tahanan jenis tanah yang diakibatkan oleh pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan mencapai kedalaman dimana terdapat air yang konstan. Untuk melihat gambaran besaran tahanan jenis tanah terdapat beberapa macam jenis tanah, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Tahanan jenis tanah

<b>Jenis Tanah</b>	<b>Tahanan Jenis Tanah (Ohm-m)</b>
Tanah Rawa	30
Tanah Liat, Ladang dan Tanah Garapan	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	3000

(Sumber: PUIL tahun 2000)

### 2.2.19 Penangkal Petir

Penangkal petir adalah sebuah batang logam atau konduktor yang dipasang di atap gedung dan pada perangkat listrik yang terhubung ke tanah melalui kawat, untuk melindungi bangunan pada saat terjadi petir.

Prinsip kerja penangkal petir yaitu jika listrik bermuatan negatif di bagian bawah awan sudah tercukupi, maka listrik bermuatan positif di tanah akan segera tertarik. Muatan listrik kemudian segera merambat naik melalui kabel penghantar menuju penangkal petir. Ketika listrik bermuatan negatif berada cukup dekat di atas, daya tarik-menarik antara kedua muatan semakin kuat, maka listrik bermuatan positif di ujung penangkal petir tertarik ke arah muatan negatif. Pertemuan kedua muatan listrik ini menghasilkan aliran listrik. Aliran listrik akan mengalir ke dalam tanah melalui kabel penghantar, dengan demikian sambaran petir tidak mengenai bangunan.

Akan tetapi sambaran petir dapat merambat ke dalam bangunan melalui kawat jaringan listrik, dan bahayanya dapat merusak peralatan-peralatan elektronik di bangunan yang terhubung dengan jaringan listrik pada gedung. Untuk mencegah kerusakan yang terjadi akibat sambaran petir, di dalam bangunan dipasang peredam surja atau tegangan lonjak sementara, seperti *surge arrester*.

### 2.2.20 Jenis-jenis Metode Pemasangan Penangkal Petir

#### 2.2.16.1. *Sistem Penangkal Petir Internal*

Sistem Proteksi Petir Internal Berdasarkan pengertian dari *International Electrotechnical Commission (IEC) TC 81/1989* tentang konsep *Lightning Protection Zone (LPZ)*, sistem proteksi petir internal adalah proteksi peralatan elektronik terhadap efek dari arus petir. Proteksi internal terdiri atas pencegahan terhadap dampak sambaran langsung, pencegahan terhadap dampak sambaran tidak langsung. Ada banyak sistem yang dapat digunakan sebagai proteksi petir internal, salah satunya *Surge Arrester* atau biasa dikenal *Surge Protection*

*Device* (SPDs) namun pada karya tulis ini penulis hanya akan membahas mengenai sistem penangkal petir eksternal saja.

#### **2.2.16.2. Sistem Penangkal Petir Eksternal**

Perlindungan petir eksternal adalah instalasi dan alat-alat diluar sebuah struktur untuk menangkap dan menghantarkan arus petir ke sistem pentanahan untuk berfungsi sebagai ujung tombak penangkap muatan arus petir di tempat yang paling tinggi (Hosea dkk, 2004) Instalasi penangkal petir eksternal meliputi:

##### **a. Penangkal Petir Konvensional/*Faraday*/*Franklin***

Kedua ilmuwan antara *Faraday* dan *Franklin* menjelaskan bahwa sistem yang hampir sama, yakni sistem penyalur arus listrik yang menghubungkan antara bagian atas bangunan dan *grounding*, sedangkan sistem perlindungan yang dihasilkan dari ujung penerima/*splitzer* adalah sama pada rentang 25 - 55 derajat. Perbedaannya adalah pada sistem yang dikembangkan oleh *Faraday* bahwa kabel kawat penghantar berada pada sisi luar bangunan dengan pertimbangan bahwa kabel kawat penghantar juga berfungsi sebagai material penerima sambaran petir, yaitu berupa sangkar elektris atau biasa disebut dengan sangkar *Faraday*. Pada sistem yang dikembangkan oleh *Franklin* adalah berupa batang tembaga dengan daerah perlindungan berupa kerucut imajiner dengan sudut puncak tertentu. Agar daerah perlindungan besar, kabel kawat penghantar ini dipasang pada pipa besi dengan ketinggian tertentu.

##### **b. Penangkal Petir Radio Aktif**

Penelitian terus berkembang akan sebab terjadinya petir, dan semua ilmuwan sepakat bahwa terjadinya petir karena ada muatan listrik di awan berasal dari proses

ionisasi, maka untuk menggagalkan proses ionisasi dilakukan dengan cara menggunakan zat beradiasi seperti *Radium 226* dan *Ameresium 241* karena kedua bahan ini mampu menghamburkan ion radiasinya yang dapat menetralkan muatan listrik awan. Maka manfaat lain hamburan ion radiasi tersebut akan menambah muatan pada ujung penerima/*splitzer*, bila mana awan yang bermuatan besar tidak mampu dinetralkan dengan zat radiasi dan kemudian menyambar maka akan cenderung mengenai penangkal petir ini. Keberadaan penangkal petir jenis ini telah dilarang pemakaiannya, berdasarkan kesepakatan internasional dengan pertimbangan mengurangi zat beradiasi pada masyarakat, selain itu penangkal petir ini dianggap dapat mempengaruhi kesehatan manusia.

c. Penangkal Petir Elektrostatis atau Tipe *Radius*

Prinsip kerja dari penangkal petir elektrostatis atau tipe *radius* ini mengadopsi sebagian dari sistem penangkal petir radio aktif, yaitu dengan menambah muatan pada ujung penerima/*splitzer* agar petir selalu memilih ujung ini untuk disambar. Perbedaan dengan sistem radio aktif adalah jumlah energi yang dipakai. Untuk penangkal petir radio aktif muatan listrik dihasilkan dari proses hamburan zat beradiasi sedangkan pada penangkal petir elektrostatis ini energi listrik yang dihasilkan dari listrik awan yang menginduksi permukaan bumi.

d. Konduktor ke Bawah (*down conductor*)

Konduktor ke bawah adalah bagian sistem proteksi eksternal yang dimaksudkan untuk melewatkan arus petir dari sistem terminasi udara ke sistem pentanahan. Konduktor ke bawah terbagi menjadi konduktor penyalur utama, yaitu jenis logam yang disiapkan secara khusus

untuk menyalurkan arus petir ke tanah dan konduktor penyalur pembantu yaitu penghantar lain berupa pipa air hujan dari logam atau bahan konstruksi bangunan dari logam yang dimanfaatkan untuk penyalur arus petir ke tanah.

### 2.2.21 Perhitungan Kegagalan Perlindungan Penangkal Petir

Menurut Karahap (2007), pada tahun 1960 *provost* mengemukakan suatu *resume* tentang peranan penangkal petir dan kawat tanah. Jumlah gangguan akibat kegagalan penangkal petir dapat dihitung dengan metode konvensional dan beberapa pertimbangan.

a. Mengetahui jumlah total hari guruh per tahun *Iso Keraunic Level* (IKL) dari data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) wilayah D.I.Yogyakarta pada bulan Januari 2018 sampai Desember 2018 mencapai 46 hari guruh per tahun.

b. Menghitung luas daerah yang dilindungi penangkal petir (A).

$$A = \pi r^2 + S \times d \dots\dots\dots(2.9)$$

c. Menghitung harga kerapatan sambaran petir (D).

$$D = 9,875 \cdot 10^{-8} \times \text{IKL} \dots\dots\dots(2.10)$$

d. Menghitung jumlah sambaran petir yang terjadi di penangkal petir (L).

$$L = 100/A \times D \dots\dots\dots(2.11)$$

e. Persentase Kemungkinan kegagalan penangkal petir. (P $\theta$ )

$$\text{Log } P\theta = 0,06 \times (\theta - 2,2) \dots\dots\dots(2.12)$$

f. Jumlah gangguan akibat kegagalan penangkal petir. (SFO)

$$\text{SFO} = P\theta \times L \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan:

- A = Luas daerah yang dilindungi
- S = Tinggi total gedung
- d = Diameter perlindungan
- r = Jari-jari perlindungan

- D = Kerapatan sambaran petir
- IKL = Jumlah hari guruh per tahun
- L = Jumlah sambaran petir
- $\theta$  = Sudut perlindungan
- $P\theta$  = Kemungkinan kegagalan penangkal petir

### 2.2.22 Kebutuhan Perlindungan Terhadap Petir

Sebuah sistem penangkal petir harus dapat melindungi semua bagian dari struktur bangunan dan areanya, termasuk manusia serta peralatan yang ada didalamnya terhadap ancaman bahaya dan kerusakan akibat sambaran petir. Selanjutnya akan dibahas teori tentang bagaimana menganalisis besar kebutuhan bangunan atau gedung akan akan perlindungan terhadap petir menggunakan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), *International Electrotechnical Commision (IEC) 1024-1-1*, dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004.

### 2.2.23 Kebutuhan Perlindungan Terhadap Petir Menurut Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP)

Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP) tahun 1983, besarnya kebutuhan proteksi terhadap sambaran petir ditentukan berdasarkan penjumlahan indeks-indeks tertentu yang mewakili keadaan bangunan di suatu lokasi dan dituliskan sebagai berikut:

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

- R = Perkiraan bahaya petir
- A = Penggunaan dan isi bangunan
- B = Konstruksi bangunan
- C = Tinggi bangunan
- D = Situasi bangunan
- E = Hari guruh

Dari persamaan tersebut dapat dikatakan jika semakin besar nilai indeks maka semakin besar juga kebutuhan bangunan tersebut terhadap sistem proteksi petir, sesuai tabel dibawah ini.

**Tabel 2.2** Indeks A: Bahaya berdasarkan penggunaan dan Isi bangunan

<b>Penggunaan dan Isi</b>	<b>Indeks A</b>
Bangunan biasa yang tidak perlu diamankan baik bangunan maupun isinya	- 10
Bangunan dan isinya jarang dipergunakan seperti danau ditengah sawah, gudang, menara, atau tiang metal.	0
Bangunan yang berisi peralatan sehari-hari atau tempat tinggal orang (rumah tinggal, toko, pabrik kecil, tenda, atau stasiun kereta api, dsb).	1
Bangunan yang isinya cukup penting (menara air, toko barang-barang berharga, kantor, pabrik, gedung pemerintah, tiang atau menara non-metal, dsb).	2
Bangunan yang berisi banyak sekali orang, seperti supermarket, bioskop, masjid, gereja, sekolah, apartemen, monumen bersejarah yang sangat penting, dsb.	3
Instalasi gas, minyak, SPBU, rumah sakit, dsb.	5
Bangunan yang mudah meledak, gudang bahan kimia, gudang penyimpanan gas, gudang bahan peledak, dsb.	15

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

**Tabel 2.3** Indeks B: Bahaya berdasarkan konstruksi bangunan

<b>Konstruksi Bangunan</b>	<b>Indeks B</b>
Seluruh bangunan yang 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 dan atap bukan logam.	2
Bangunan kayu dengan bukan logam	3

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

**Tabel 2.4** Indeks C: Bahaya berdasarkan tinggi bangunan

<b>Tinggi Bangunan Sampai..... (m)</b>	<b>Indeks C</b>
6	0
12	2
17	3
25	4
35	5
50	6
70	7
100	8
140	9
200	10

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

**Tabel 2.5** Indeks D: Bahaya berdasarkan situasi bangunan

<b>Situasi Bangunan</b>	<b>Indeks D</b>
Di tanah datar pada semua ketinggian	0
Di kaki bukit sampai tiga perempat tinggi bukit atau pegunungan sampai 1000 meter	1

**Tabel 2.5** Indeks D: Bahaya berdasarkan situasi bangunan (lanjutan)

Situasi Bangunan	Indeks D
Di puncak gunung atau pegunungan lebih tinggi dari 1000 meter	2

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

**Tabel 2.6** Indeks E: Bahaya berdasarkan hari guruh

Hari Guruh Per Tahun	Indeks E
2	0
4	1
8	2
16	3
32	4
64	5
128	6
256	7

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

**Tabel 2.7** Indeks R: Perkiraan bahaya sambaran petir

$R = A + B + C + D + E$	Perkiraan Bahaya (Risiko)	Pengamanan
< 11	Diabaikan	Tidak perlu
= 11	Kecil	Tidak perlu
12	Tidak begitu kecil	Cukup dianjurkan
13	Cukup besar	Dianjurkan
14	Besar	Sangat dianjurkan
> 14	Sangat Besar	Sangat perlu

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir (PUIPP), 1983)

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-7015-2004 dan *International Electrotechnical Commission* (IEC) 1024-1-1, dalam pemilihan tingkat proteksi yang memadai untuk suatu sistem proteksi petir

yang didasarkan pada frekuensi sambaran petir langsung setempat yang diperkirakan mengenai struktur bangunan yang dilindungi ( $N_d$ ) persamaan (2.4) dan data dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) D.I.Yogyakarta 2018 yang menyebutkan nilai frekuensi sambaran petir tahunan setempat ( $N_c$ ) yaitu sebesar 46 per tahun.

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

Jika  $N_d \leq N_c$  tidak memerlukan sistem proteksi terhadap sambaran petir.

Jika  $N_d \geq N_c$  diperlukan sistem proteksi terhadap sambaran petir, dengan efisiensi:

$$E \geq 1 - N_c/N_d \dots\dots\dots(2.13)$$

Setelah itu dapat ditentukan tingkat proteksinya yang sesuai tabel 2.8

Keterangan:

$E$  = Efisiensi sistem proteksi

$N_c$  = Nilai frekuensi sambaran petir per tahun

$N_d$  = Nilai frekuensi sambaran petir yang mengenai struktur bangunan yang dilindungi

**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 03-7015-2004:13)

#### 2.2.24 Metode Ruang Sistem Perlindungan Konvensional

Berdasarkan SNI 03-0715-2004, ruang sistem perlindungan terhadap sambaran petir konvensional adalah ruang perlindungan terhadap

sambaran petir berbentuk kerucut dengan sudut puncak 25° sampai 55°. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.9. Pemilihan besar sudut perlindungan terhadap petir ini berdasar tingkat proteksi. Setelah itu dapat dihitung jari-jari (r) zona perlindungan dengan persamaan (2.14) yaitu:

$$\tan \alpha = r/h \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan:

$\alpha = \theta$  = Besar sudut perlindungan berdasarkan tabel 2.9 (°)

r = Jari-jari zona proteksi (meter)

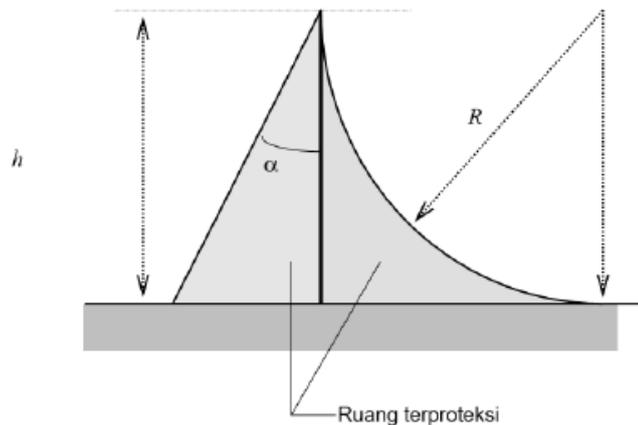
h = Tinggi dari tanah ke ujung penangkal petir/penerima (meter)

**Tabel 2.9** Penempatan terminasi udara sesuai tingkat proteksi

Tingkat Proteksi	h (m)	20	30	45	60	Lebar Mata Jala (m)
	r (m)	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	$\alpha^\circ$	
I	20	25	-	-	-	5 – 9
II	30	35	25	-	-	10 – 14
III	45	45	35	25	-	15 – 19
IV	55	55	45	35	25	20

\*Hanya menggunakan bola bergulir dan mata jala dalam kasus ini

(Sumber: Peraturan Umum Instalasi Penangkal Petir 2004 (PUIPP 2004))



*Gambar 2.13 Sudut dan ruang proteksi*

Semua benda yang berada di ruang proteksi akan terhindar dari sambaran petir. Sedangkan benda-benda yang berada di daerah kerucut

proteksi tidak akan terlindungi (SNI 03-0715, 2004: 25).

### 2.2.25 Metode Ruang Sistem Perlindungan Non-Konvensional

Metode ini pertama kali dipatenkan oleh Gusta P. Carpart pada tahun 1931. Sebelumnya seorang ilmuwan Hungaria, Szillard tahun 1941 pernah memberikan gagasan untuk menambahkan bahan radioaktif pada metode *Franklin* rod, guna meningkatkan tarikan pada sambaran petir. Metode ini terdiri atas *Franklin* rod dengan bahan radioaktif *radium* atau sumber *thorium* sebagai penghasil ion yang dihubungkan ke pentanahan melalui penghantar khusus.

Sistem proteksi petir *Early Streamer Emission* adalah pendekatan relatif terbaru dalam penyelesaian masalah kerusakan instalasi petir, yang dilengkapi dengan sistem FR. *Early Streamer Emission* (ESE) adalah terminal udara radioaktif non-konvensional, tetapi banyak negara telah melarang hal ini, dikarenakan sumber radioaktif yang posisinya dekat dengan bagian atas terminal membahayakan kesehatan. Peralatan ESE non-radioaktif yang banyak digunakan adalah *Pulsar* (dikembangkan oleh Helita, Perancis) dan *Dynasphere* (dikembangkan oleh Erico, Australia).

Radius dari sistem proteksi petir jenis ini,  $R_p$  dari alat ESE digambarkan pada gambar berikut dari standar Prancis NF C 17 – 102. Hal ini tergantung pada alat inisiasi,  $\Delta T$  dari alat ESE. Radius dari proteksi ini,  $R_p$  diperoleh dari:

$$R_p = \sqrt{2Dh - h^2 + \Delta L (2D + \Delta L)} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

$R_p$  = Radius dari proteksi dalam area horizontal dalam jarak vertikal  $h$  dari ujung tipe ESE.

$h$  = Tinggi dari ujung atas terminal elemen yang diproteksi

$D$  = 20 meter memiliki tingkat proteksi I

45 meter memiliki tingkat proteksi II

60 meter memiliki tingkat proteksi III

$\Delta L$  = Tambahan jarak (meter)

Adapun luas radius dari proteksinya ( $A_x$ ) adalah sebagai berikut:

$$A_x = \pi \times R_p^2 \dots\dots\dots(2.17)$$

### 2.2.26 Standar Penghantar yang Digunakan pada Sistem Pentanahan

Berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) tahun 2000 pasal 7 ayat 1 no. 1, bahwa “semua penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai dengan tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan diuji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi yang berwenang.”

Adapun beberapa komponen tambahan penangkal petir dan jenis kabel dari penghantar yang dapat digunakan, antara lain adalah sebagai berikut:

a. Konduktor

Konduktor yang berada di dalam tanah, sebaiknya menggunakan tembaga yang tahan terhadap korosi dan ekonomis. Plat tembaga atau *copper tape* sangat cocok untuk sistem yang memerlukan kehandalan dalam jangka waktu yang lama.

b. *Copper Butter Connector*

Alat ini digunakan untuk menyambung kabel *grounding* penangkal petir, dan biasanya kabel yang akan disambung pada instalasi penangkal petir. Setelah kabel *grounding* tersambung oleh alat ini tentunya harus diperkuat dengan isolasi sehingga daya rekat dan kualitas sambungannya dapat terjaga dengan baik.



### **Gambar 2.14 Copper Butter Connector**

#### **c. Ground Rod Drilling Head**

Alat ini berfungsi untuk membantu mempercepat pembuatan *grounding* penangkal petir atau anti petir, dengan cara memasang dibagian bawah *Copper Rod* atau *Ground Rod* yang akan di masukkan ke dalam tanah, sehingga *Copper Rod* atau *Ground Rod* tersebut ketika didorong ke dalam tanah akan cepat masuk, karena bagian ujung alat ini runcing. Selain itu, alat ini juga melindungi *Copper Rod* ketika dipukul ke dalam tanah.



**Gambar 2.15 Ground Rod Drilling Head**

#### **d. Konektor dan Terminal**

Konduktor yang baik juga memerlukan konektor yang baik untuk penyambungan, selain itu terminal dengan kualitas tinggi tidak kalah penting juga untuk membangun sistem yang handal dan tahan lama, karena 70% gangguan yang terjadi pada instalasi pbumian terjadi akibat sambungan yang tidak sempurna dan terminasi yang longgar.



(a)

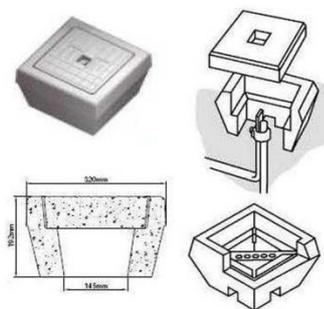


(a)

*Gambar 2.16 (a) Klem kabel (b) Klem penjepit*

e. *Earth Inspection Pits*

Batang tembaga yang ditanam di tanah harus mempunyai bak-kontrol yang memadai, guna untuk memudahkan pemeliharaan dan menjaga kualitas pembedaan. Sistem bak-kontrol PVC didesain sangat efisien dan dapat menahan berat sampai 5 ton, sehingga aman untuk dipasang di jalan yang dilalui kendaraan.

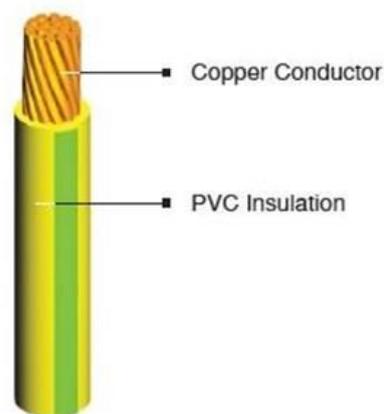


*Gambar 2.17 Bak-kontrol*

f. Kabel NYA

Kabel NYA ini berinti tunggal, berukuran 1,5 mm<sup>2</sup> dan 2,2 mm<sup>2</sup> berlapis isolasi PVC, yang biasanya digunakan untuk instalasi rumah dan sistem tenaga listrik serta untuk instalasi luar atau udara. Kode warna isolasi ada yang kuning, merah, biru, dan hitam sesuai PUIL 2013 tentang ketentuan warna kabel instalasi listrik. Kabel tipe ini umum dipergunakan di

perumahan karena harganya yang relatif murah. Lapisan isolasinya hanya 1 lapis sehingga mudah cacat, tidak tahan air dan mudah digigit oleh tikus. Supaya aman dalam memakai kabel tipe ini, kabel harus dipasang dalam pipa/*conduit* jenis PVC atau saluran tertutup, sehingga tidak mudah jadi sasaran gigitan tikus dan apabila terkelupas pada isolasinya tidak tersentuh langsung oleh orang.



*Gambar 2.18 Kabel NYA*

g. Kabel NYM

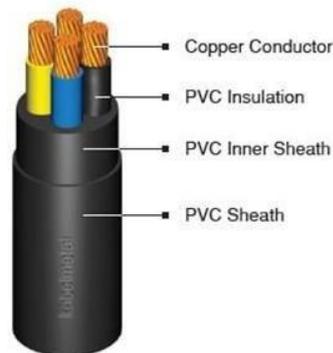
Kabel NYM mempunyai lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna putih atau abu-abu), ada yang berinti 2, 3 atau 4, dan mempunyai lapisan isolasi 2 lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik daripada kabel NYA (harganya lebih mahal dari NYA). Kabel tipe ini dapat digunakan di lingkungan yang berkondisi kering atau basah, namun tidak boleh ditanam.



Gambar 2.19 *Kabel NYM*

h. Kabel NYY

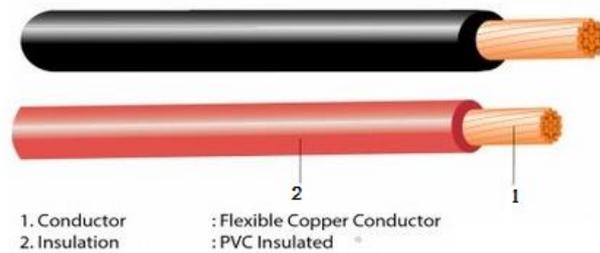
Kabel NYY ini memiliki inti 2, 3, atau , dan memiliki lapisan isolasi PVC (biasanya berwarna hitam). Kabel NYY biasanya digunakan untuk instalasi tertanam (kabel tanah), dan mempunyai lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM (harganya lebih mahal dari NYM). Kabel NYY ini juga mempunyai isolasi yang terbuat dari bahan yang tidak disukai tikus.



Gambar 2.20 *Kabel NYY*

i. Kabel NYAF

Kabel NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Biasanya digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.



*Gambar 2.21 Kabel NYF*

j. Kabel NYFGbY

Kabel NYFGbY ini digunakan untuk instalasi bawah tanah, di dalam ruangan di dalam saluran-saluran dan pada tempat-tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan, atau untuk tekanan rentangan yang tinggi selama dipasang dan dioperasikan.



*Gambar 2.22 Kabel NYFGbY*

Kabel jenis ini biasanya sering dipasang untuk tegangan menengah, seperti untuk suplai penerangan lampu jalan, suplai lampu lalu lintas, dan juga sebagai penghubung antara panel satu dengan lainnya, yang mana kabel tersebut ditanam di dalam tanah.

### 2.2.27 Penghantar Rel (*Busbar*)

Sistem rel atau *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 panel lindung sistem 3 fase di gedung bertingkat bisa juga disebut dengan “Sitem 5 rel”. Tiga rel digunakan untuk penghantar 3 fase dibagi di bagian fase R, fase S, dan fase T, dan satu rel digunakan untuk kabel penghantar netral dan satu rel lagi untuk kabel penghantar pentanahan (*grounding*), yang di posisikan di dalam panel yang berada di bawah. Sedangkan, untuk rel fasenya dipasang di bagian atas.

Ada beberapa yang mendasari dalam menentukan ukuran rel, diantaranya adalah dengan *rating* arusnya dan kondisi saat operasi normal, kemudian ada besarnya tegangan yang dinamis dan kondisi saat hubung singkat (berupa panas yang timbul dari akibat arus hubung singkat tersebut). Dengan demikian, data-data yang ada di pabrik pembuat rel harus relevan dengan standar desain panel yang telah sesuai dengan ketentuan yang sudah ada.

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja (Permenaker) nomor : PER.02/MEN/1989 hal-hal yang terkait tentang pengawasan instalasi penyalur petir menyebutkan bahwa pada Pasal 14 ayat 1-3 bahwa batasan ruang perlindungan dengan metode konvensional berbentuk kerucut sudut proteksi tidak boleh lebih dari  $112^\circ$  dari sisi ke sisi. Pasal 20 a dan b menjelaskan bahwa bahan penghantar pentanahan yang dipasang khusus harus digunakan kawat tembaga atau bahan yang sederajat dengan ketentuan:

- a. Minimal luas penampang kabel  $50 \text{ mm}^2$ .
- b. Setiap bentuk penampang dapat dipakai dengan tebal serendah-rendahnya 2 mm.