



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pentanahan

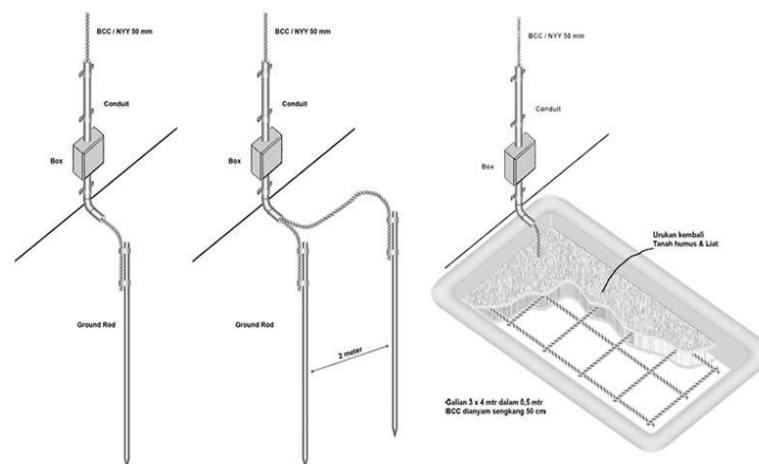
Sistem pentanahan atau grounding adalah sistem pengamanan untuk perangkat-perangkat yang memanfaatkan sumber daya listrik sebagai catuannya, dari sambaran petir, lonjakan arus listrik, dan sebagainya. Salah satu cara untuk mengurangi tegangan permukaan tanah adalah dengan memasang batang elektroda penyangga yang ditanam langsung ke dalam tanah.

Sistem pembumian ini digunakan untuk keselamatan langsung sistem dan manusia jika terjadi kebocoran arus karena kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada sistem kelistrikan. Petir juga memicu arus dan tegangan lebih di mana masalah dapat diarahkan langsung ke ground menggunakan instalasi grounding.

Karena peralatan listrik BTS (Base Transceiver Station) biasanya tersebar dan berada di area dengan struktur tanah berlapis, maka diperlukan desain pentanahan yang memadai untuk mencapai tahanan pentanahan yang rendah dan memastikan tegangan permukaan yang timbul tidak berbahaya dalam kondisi normal atau ketika tanah terganggu.

Alasan utama untuk pembumian adalah untuk mencapai tegangan yang seragam dalam struktur peralatan serta impedansi rendah sebagai arus hubung singkat yang kembali ke tanah. Perbedaan tegangan yang besar dan berbahaya akan terjadi jika arus hubung singkat ke tanah dipaksa mengalir melalui tanah dengan resistansi tinggi. Arus gangguan yang mengalir ke tanah jika terjadi gangguan akan menghasilkan perbedaan tegangan di permukaan tanah karena adanya tahanan tanah. Jika seseorang berjalan di tanah sambil memegang atau menangani peralatan dengan kerusakan sistem pentanahan pada saat gangguan, maka arus akan mengalir melalui tubuh orang tersebut, yang berpotensi membahayakan nyawanya.

Arus kejut adalah sebutan untuk arus mematkan ini. Besar kecilnya arus listrik dan lama waktu mengalirnya menentukan derajat bahaya yang dihadapi seseorang. Ketika arus yang melewati tubuh manusia melebihi arus yang dapat ditangani oleh otot, hal itu dapat menyebabkan orang pingsan dan, jika tidak ditangani, kematian. Ini karena arus mengganggu fungsi jantung, menyebabkan sirkulasi darah terhenti.



Gambar 2. 1 Sistem Pentanahan

2.2 Karakteristik Pentanahan

Karakteristik tanah merupakan salah satu hal yang paling penting untuk dipahami karena berkaitan dengan perencanaan dan sistem pentanahan yang akan digunakan. Penelitian sifat-sifat tanah sehubungan dengan pengukuran tahanan ini sesuai dengan tujuan pentanahan yaitu arus gangguan harus terdistribusi secara merata ke dalam tanah sesegera mungkin dan tahanan jenis tanah merupakan komponen penting yang mempunyai pengaruh penting pada ukuran tahanan pembumian. Padahal, nilai resistansi tanah bervariasi berdasarkan komposisi tanah dan faktor lainnya.

Karena struktur tanah yang sebenarnya tidak sesederhana yang dibayangkan, pengukuran fisik di lokasi konstruksi diperlukan untuk mendapatkan nilai resistansi tanah yang akurat. Beberapa jenis tanah dengan resistansi yang bervariasi sering dijumpai pada suatu tempat tertentu (tidak seragam). Tidak



jarang peralatan pembedaan rusak selama pemasangan sistem pembedaan di lokasi bangunan yang ditanam di dua atau lebih lapisan tanah yang terpisah, yang menyiratkan bahwa resistivitas tanah di lokasi tersebut bervariasi. Jika lapisan tanah awal sistem pentanahan memiliki resistansi sebesar p_1 dan lapisan bawah memiliki resistansi sebesar p_2 , maka diperoleh faktor refleksi (K) dihitung sebagai berikut:

$$K = \frac{p_2 - p_1}{p_2 + p_1} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

K = Faktor refleksi

p = Jenis tanah

Faktor refleksi K mungkin positif atau negatif dengan menggunakan perhitungan di atas. Tahanan tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Besarnya Arus
2. Temperatur
3. Kandungan Air
4. Gradien Tegangan
5. Kandungan Bahan Kimia

Kadang-kadang layak untuk menerima data tentang kelembaban dan suhu tanah yang bervariasi saat menanam elektroda pembedaan. Nilai resistivitas tanah dalam skenario ini harus dihitung pada kondisi yang paling merugikan, yaitu tanah kering dan dingin. Sebuah rencana tanah dibuat berdasarkan harga ini.

Nilai jenis resistansi tanah (r) sangat dipengaruhi oleh tahanan tanah (R) dan jarak antar elektroda yang digunakan pada saat pengukuran. Untuk memperoleh nilai rata-rata, pengukuran ini harus dilakukan di banyak lokasi berbeda. Resistivitas rata-rata kedua lapisan tanah dihitung sebagai berikut:



$$\rho_{av} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{x=1}^{\infty} \frac{K^n}{d} \left[\frac{2a}{\sqrt{(1+(\frac{2nH}{a})^2)}} - \frac{a}{\sqrt{(1+(\frac{2nH}{a})^2)}} \right] \right\} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ_{av} : Tahanan jenis rata-rata dua lapisan tanah (ohm-m)

ρ_1 : Tahanan jenis tanah lapisan pertama (ohm-m)

a : Jarak antara elektroda (meter)

h : Ketebalan lapisan tanah bagian pertama (meter)

K : Koefisien refleksi

d : Diameter elektroda (meter)

n : Jumlah pengamatan tiap lapisan tanah yang diamati

Perbedaan jenis resistansi tanah yang disebabkan oleh iklim biasanya terbatas pada beberapa meter di bawah permukaan tanah, setelah itu menjadi hampir konstan.

2.3 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah konduktor yang terkubur di dalam tanah dan bersentuhan langsung dengannya. Adanya kontak langsung dimaksudkan untuk mencapai aliran arus terbaik jika terjadi gangguan, sehingga memungkinkan arus mengalir ke tanah.

Menurut PUIL 2000, elektroda adalah konduktor yang ditanam di tanah dan bersentuhan langsung dengan tanah. Selama kondisi setempat tidak menghalangi penggunaan bahan lain, seperti di pabrik kimia, tembaga atau baja yang telah digalvanis atau dilapisi dengan tembaga digunakan sebagai bahan elektroda pembumian.

Elektroda juga dapat dianggap sebagai konduktor yang tertanam di tanah yang membuat kontak langsung dengannya. Elektroda pembumian termasuk konduktor pembumian tidak berisolasi yang ditempatkan di tanah.



Perhitungan tahanan pentanahan pada tower bts menggunakan elektroda batang pada tiap kakinya dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{4 \pi l} \left(\ln \frac{4l}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4 \pi l} \left(1 + \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Berikut Rumus untuk elektroda yang di paralel :

$$R_{tot} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- ρ = Tahanan Jenis Tanah
- l = Panjang Batang Elektroda
- s = Jarak Antara Batang Elektroda
- α = Diameter Batang Elektroda

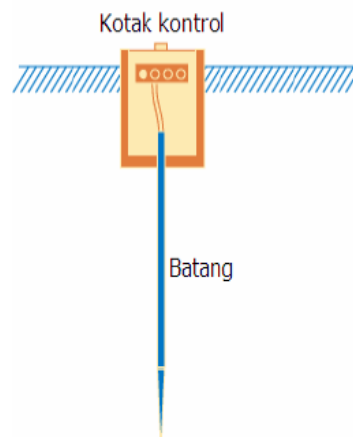
2.4 Jenis-Jenis Elektroda

Terdapat 3 jenis elektroda yang digunakan dalam pentanahan sebagai berikut :

2.4.1 Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda yang terbuat dari pipa baja yang diprofilkan atau batang logam lainnya yang didorong ke tanah. Panjang elektroda ditentukan oleh jumlah grounding yang dibutuhkan.

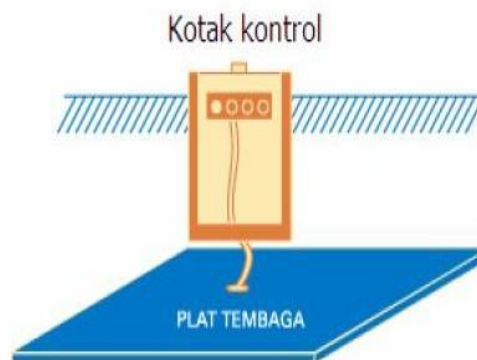
Jika nilai resistansi yang diinginkan tidak tercapai setelah diperoleh nilai resistansi pentanahan dengan satu elektroda batang, resistansi pentanahan dapat dikurangi dengan menambah jumlah elektroda batang yang ditanahkan dan dihubungkan secara paralel.



Gambar 2. 2 Elektroda Batang

2.4.2 Elektroda Plat

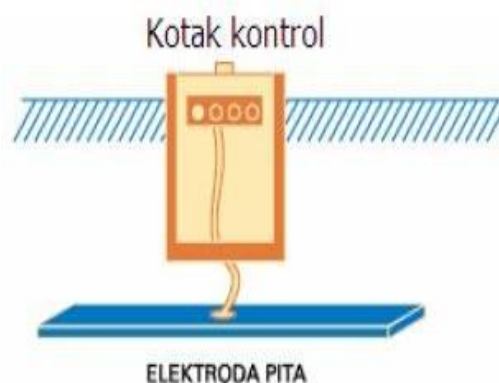
Elektroda plat adalah elektroda plat logam. Tergantung pada penggunaan yang dimaksudkan, elektroda ini dapat ditanam secara vertikal atau horizontal selama pemasangan. Ketika digunakan sebagai elektroda pbumian pengaman, elektroda dipasang tegak lurus dengan permukaan tanah pada kedalaman kira-kira 1 meter diukur dari sisi pelat atas. Elektroda pelat ditanam secara horizontal ketika digunakan sebagai elektroda pengatur, yaitu ketika mengubah kecuraman gradien tegangan untuk menghindari tegangan langkah yang signifikan dan berbahaya.



Gambar 2. 3 Elektroda Plat

2.4.3 Elektroda Pita

Elektroda ini terbuat dari logam dengan penampang berbentuk pita, tetapi bisa juga berbentuk lingkaran, pita dipilin, atau kawat dipilin. Tergantung pada kondisi dan jenis tanah, elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman 0,5 hingga 1 meter di bawah permukaan tanah. Elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar, atau kombinasi lingkaran dan radial pada saat pemasangan.



Gambar 2. 4 Elektroda Pita

2.5 Resistansi Pentanahan

Resistansi pentanahan meliputi :

- Jenis dan keadaan pentanahan atau nilai tahanan jenis menentukan tahanan pentanahan dari elektroda pentanahan.
- Resistansi pentanahan elektroda harus dapat diukur. Konduktor yang menghubungkan setiap elektroda tanah atau susunan elektroda tanah harus dipasang dengan sambungan yang dapat dilepas untuk tujuan pengujian tahanan tanah, di lokasi yang mudah dijangkau, dan jika memungkinkan, memanfaatkan sambungan yang harus ada karena pengaturan pemasangan.
- Sambungan konduktor tanah dan elektroda tanah harus kuat secara mekanis dan memastikan sambungan listrik yang baik, seperti dengan memanfaatkan las, klem, atau baut pengunci yang sulit dilepas. Baut

dengan diameter minimal 10 mm harus digunakan sebagai penjepit pada elektroda pipa.

Disarankan untuk menggunakan luas penampang atau ketebalan setidaknya 150 persen dari parameter di atas jika tanah sangat korosif atau jika digunakan elektroda baja yang tidak digalvanis.

Jika logam ringan lebih tahan korosi daripada baja atau tembaga, mereka hanya boleh ditanam di satu jenis tanah. Permukaan elektroda bumi harus membuat kontak yang baik dengan tanah sekitarnya. Resistansi pembumian secara langsung meningkat oleh batu dan kerikil yang menyentuh elektroda bumi.

Elektroda batang ditempatkan ke dalam tanah secara tegak lurus dan panjangnya disesuaikan dengan tahanan pentanahan yang diperlukan. Resistansi pentanahannya sebagian besar ditentukan oleh panjang penampang dan pada tingkat lebih rendah oleh ukuran penampang. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk mencapai resistansi tanah yang rendah, jarak di antara mereka harus setidaknya dua kali panjang elektroda. Jarak minimum antara elektroda harus dua kali panjang efektif jika elektroda tidak efektif di seluruh panjangnya.

Resistansi pentanahan elektroda bumi ditentukan oleh jenis dan keadaan tanah, serta ukuran dan konfigurasi elektroda. Resistansi pembumian elektroda harus dapat diukur. Kabel yang menghubungkan setiap elektroda pembumian atau susunan elektroda pembumian harus memiliki sambungan yang dapat dilepas karena alasan ini. Resistansi pentanahan keseluruhan dari instalasi pembumian tidak dapat dihitung hanya pada tiap pengukuran masing-masing elektroda. Luas penampang minimum baja galvanis atau baja berlapis tembaga harus 16 mm, dan tembaga 10 mm, jika elektroda pita hanya digunakan untuk mengontrol gradien tegangan.

Tahanan tanah merupakan aspek penting dalam menentukan tahanan elektroda dan kedalaman pasak yang harus ditanam untuk mencapai tahanan yang rendah. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, nilai ketahanan jenis tanah sangat bervariasi tergantung pada jenis tanah.

Tabel 2. 1 Resistansi Jenis tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ω)
Tanah Lembab, seperti rawa	30
Tanah Pertanian, Tanah Liat	100
Tanah Liat Berpasir	150
Tanah Lembab Berpasir	300
Kerikil Lembab	500
Tanah Kering Berpasir	1000
Kerikil Kering	1000
Tanah Berbatu	30.000
Batu Karang	10^7

2.6 Jenis-Jenis Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan dipisahkan ke dalam kategori yang berbeda selama instalasi, tergantung pada kebutuhan, tingkat keamanan, dan aturan yang berlaku untuk lokasi tertentu. Langkah pertama dalam membuat sistem instalasi adalah menentukan jenis ground yang akan digunakan untuk instalasi. Menurut standar PUIL 2000, ada beberapa bentuk pentanahan antara lain:

1. TN (Terra Neutral System) , terdapat 3 macam skema , yaitu: TN-C, TN-C-S, dan TN-S
2. TT (Terra Terra)
3. IT (Impedansi Terra)

2.6.1 Sistem TN

Bagian konduktif terbuka dihubungkan langsung ke titik tersebut oleh konduktor pengaman dalam sistem tegangan listrik TN, yang berfungsi jika terjadi kegagalan isolasi untuk mencegah resistansi tegangan sentuh menjadi

terlalu tinggi karena pemutusan suplai otomatis oleh pengoperasian kawat pelindung. Menurut susunan konduktor netral dan konduktor pengaman, ada beberapa jenis TN , yaitu :

- **TN-C (Terra Neutral-Combined)**

Saluran netral dan garis pengaman diintegrasikan ke dalam sistem secara keseluruhan dalam sistem ini. Saluran PEN, yang merupakan campuran saluran N dan PE, ada di semua area sistem. Saluran PEN dibagikan oleh semua bagian sistem.

- **TN-S (Terra Neutral-Separate)**

Dalam sistem TN-S, netral sumber energi listrik terhubung ke bumi pada satu titik, memungkinkan bagian netral dari instalasi konsumen terhubung langsung ke netral sumber listrik. Jenis ini sangat ideal untuk instalasi di dekat sumber energi listrik, seperti konsumen besar dengan beberapa trafo HV/LV.

- **TN-C-S (Terra Neutral-Combined-Separate)**

Saluran netral dari peralatan distribusi utama (sumber listrik) dihubungkan ke pembumian dan ditanahkan pada jarak tertentu di sepanjang saluran netral dalam sistem TN-C-S; model ini biasa disebut sebagai Protective Multiple Earthing (PME). Konduktor netral dapat mengembalikan arus gangguan tanah yang mungkin muncul dari sisi konsumen ke catu daya dalam pengaturan ini. Dalam pengaturan ini, semua yang diperlukan untuk pemasangan peralatan konsumen adalah menghubungkan pentanahannya ke terminal (saluran) sumber daya.

2.6.2 Sistem TT (Double Terra)

Komponen netral sumber listrik di sisi konsumen tidak langsung terhubung ke pentanahan netral pada sistem TT. Konsumen dalam sistem TT harus menyediakan koneksi mereka sendiri ke pentanahan, yang dapat mereka lakukan dengan memasang elektroda pentanahan yang tepat.

2.6.3 Sistem IT (Impedansi Terra)

Impedansi melalui saluran tanah Sistem sirkuit terhubung ke tanah melalui impedansi daripada koneksi langsung, sedangkan bagian konduktif dari instalasi terhubung ke elektroda pentanahan secara independen. Sistem pentanahan impedansi adalah nama lain untuk teknologi ini. Reaktansi, resistansi, dan kumparan Petersen adalah tiga jenis koneksi titik netral tidak langsung. Ada kelebihan dan kekurangan masing-masing dari ketiga jenis media koneksi ini. Namun, jenis sambungan kumparan petersen memiliki performa terbaik dari segi performa. Masalahnya adalah bahwa itu sangat mahal.

2.7 Petir

Petir juga dikenal sebagai kilatan cahaya . Saat musim hujan tiba, kita sering mengalami petir. Kilatan putih yang menyilaukan mendahului ledakan keras, yang merupakan ciri khas kilat. Saat mendekati musim hujan, petir merupakan kejadian alam yang bisa terjadi dimana saja, termasuk di Indonesia. Kilatan cahaya putih yang menyilaukan disebut kilat, dan raungan memekakkan telinga yang mengikutinya disebut guntur. Guntur dan kilat mengiringi satu sama lain, namun interval antara kilatan dan raungan kadang-kadang pendek. Kecepatan suara berbeda dari kecepatan cahaya, menghasilkan perbedaan waktu tiba.



Gambar 2. 5 Petir



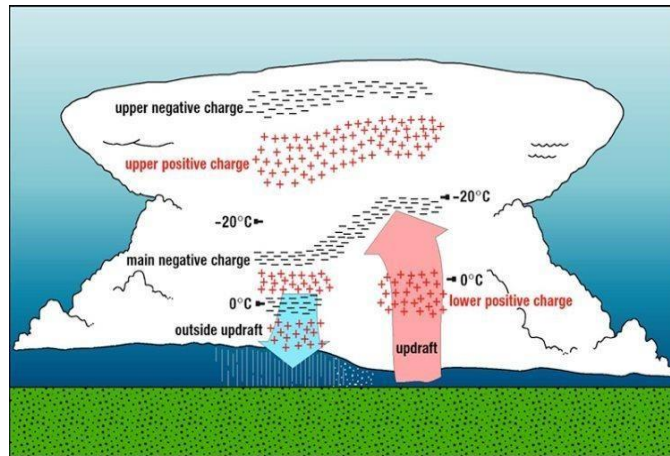
Listrik alam dilambangkan dengan petir. Petir adalah kejadian alam yang dapat dibandingkan dengan kondesator besar. Lempeng pertama dalam skenario ini adalah awan, yang dapat bertindak sebagai lempeng negatif atau positif, dan lempeng kedua adalah Bumi, yang merupakan lempeng netral. Kapasitor, seperti yang kita ketahui bersama, adalah komponen pasif dalam rangkaian listrik yang dapat menyimpan energi dalam bentuk listrik. Tidak hanya petir yang menyambar bumi, tetapi juga dapat menyambar antara awan dengan awan lainnya. Ketika satu awan bermuatan listrik dan awan lainnya tidak, ini terjadi.

2.8 Proses Terjadinya Petir

Karena beberapa faktor berkontribusi terhadap terjadinya fenomena alam itu harus terjadi. Petir terjadi karena berbagai alasan dan melalui serangkaian proses, mirip dengan bagaimana hujan terjadi di planet Bumi saat penguapan naik ke atas. Karena perbedaan potensial antara awan dan bumi, atau dengan awan lain, petir terjadi. Berikut proses terjadinya petir :

- 1) Karena awan terus bergerak secara teratur dan terus menerus, maka proses terjadinya muatan pada awan ini. Awan akan berinteraksi dengan awan lain selama perjalanan ini, menyebabkan muatan negatif berkumpul di satu sisi saja dan muatan positif berkumpul di sisi yang berlawanan.
- 2) Ketika perbedaan potensial antara awan dan bumi cukup besar, terjadi pelepasan muatan negatif. Akibatnya, muatan negatif dari awan akan dibuang ke bumi untuk mencapai keseimbangan. Media yang dilalui elektron (muatan negatif) dalam proses pelepasan ini adalah udara.
- 3) Ketika elektron mampu menembus penghalang isolasi udara, ledakan suara terjadi, yang kita alami sebagai guntur.

Petir lebih sering terjadi selama musim hujan karena udara mengandung lebih banyak air, yang mengurangi daya isolasi udara dan memungkinkan arus listrik mengalir lebih bebas.



Gambar 2. 6 Proses Terjadinya Petir

2.9 Parameter Petir

Setiap sambaran petir memiliki deskripsi matematis dan kelistrikannya. Hal ini penting untuk menilai besarnya dampak dari masing-masing karakteristik tersebut terhadap objek sambaran, serta kualitas keselamatan yang harus dirancang. Tabel 2.2 mencantumkan berbagai jenis parameter petir.

Tabel 2. 2 Jenis Parameter Petir

Parameter Pasif		Tingkat Proteksi		
		I	II	III-IV
Nilai arus puncak	I (kA)	200	150	100
Muatan total	Q_{total} (C)	300	225	150
Muatan impuls	Q_{impuls} (C)	100	75	50
Energi total	W/R (kJ/ Ω)	10000	5600	2500
Kecuraman rata-rata	$di/dt_{30/90\%}$ (kA/ μs)	200	150	100

Berikut 4 jenis parameter untuk merancang peralatan proteksi petir :

1) Arus Puncak (I_{max})

Sambaran balik menghasilkan arus terbesar pada jenis petir cloud-ground (CG) . Ketika objek yang terkena memiliki beban resistif (R), seperti saluran transmisi, pohon, atau batang tanah yang tertanam di bumi, arus sambaran balik puncak sangat penting. Contoh , ketika petir menyambar saluran transmisi dengan impedansi surja 400 V dan I_{max} 30 kA, maka tegangan lebih 600 kV dapat terjadi (dengan asumsi pembagian arus). Tegangan lebih yang terjadi dapat menyebabkan isolator mengalami flashover. Gaya magnetik arus puncak memiliki potensi untuk memutuskan konduktor.

Menurut bukti yang ada , konduktivitas tanah tidak berpengaruh pada arus petir puncak. Di sisi lain tanah konduktivitas rendah akan memiliki efek samping pada nilai arus petir puncak yang sama dengan tanah konduktivitas tinggi.

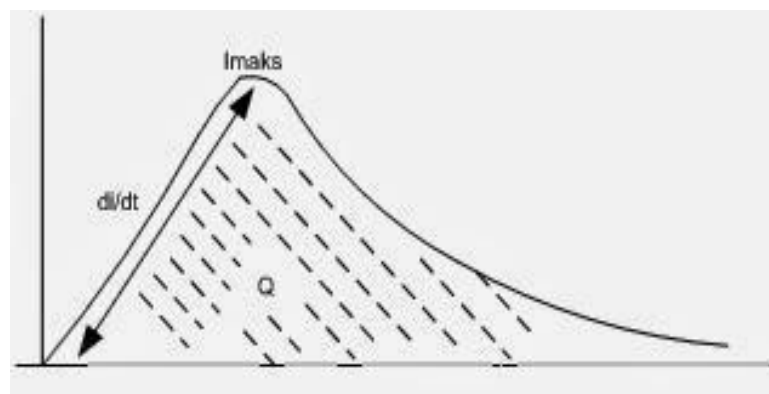
Untuk mengetahui nilai arus puncak digunakan umus Arus Puncak (I_{max}) sebagai berikut :

$$R (m) = I^{0.75}$$

Maka,

$$R (m) = I^{0.75}$$

$$I = {}^{0.75}\sqrt{R} \dots\dots\dots (4.6)$$



Gambar 2. 7 Arus Puncak (I_{max})



2) Kecuraman Arus Petir (di/dt)

Tegangan lebih petir terbesar pada objek dengan impedansi induktif, seperti kabel sebanding dengan laju perubahan arus maksimum, atau dapat dinyatakan sebagai:

$$U = L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

U = Tegangan Induktansi

L = Induktansi kabel

di/dt = Laju kenaikan arus terhadap waktu/kecuraman arus petir

Sambaran balik gelombang petir memiliki di/dt tertinggi. Sambaran balik positif lebih kecil dari pada sambaran balik petir negatif.

3) Muatan Arus Petir (Q)

Jumlah pemanasan dan peleburan/lubang pada objek logam yang tersambar petir sebanding dengan jumlah muatan yang ditransfer, serta arus di mana muatan ini dikirim. Muatan dinyatakan sebagai berikut :

$$Q = \int i \cdot dt \dots\dots\dots(2.7)$$

$$W = Q \cdot V_{a,k} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

Q = Muatan Total/ Muatan petir

W = Jumlah Energi

i = Arus Petir

V_{a,k} = Tegangan Jatuh Anoda dan Katoda

Atau dengan kata lain, Muatan arus petir menyebabkan peralatan yang rusak akibat petir meleleh atau berlubang. Perkalian arus dan drop tegangan (5 sampai 10 V) pada antarmuka busur-logam menentukan jumlah daya yang ditransfer pada titik sambaran. Muatan pada petir disebabkan oleh arus terus menerus yang



panjang dari sambaran balik. Bahkan jika sambaran balik yang signifikan terjadi dalam mikro detik (sangat cepat), itu tidak akan dapat mentransfer muatan sebanyak arus petir terus menerus tetapi akan berlangsung dalam waktu lama (orde mili detik), bahkan jika arusnya lebih kecil (100-1000 A).

4) Impulse Force (E)

Kemampuan arus petir untuk menghasilkan panas pada suatu benda yang tersambar petir diukur dengan impulse force. Dimana benda tersebut memiliki impedansi resistif. Dinyatakan sebagai berikut:

$$E = \int i^2 \cdot dt \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

E = Energi yang timbul

i = Arus Petir

t =Waktu

Nilai E menentukan kecepatan panas, hancur, ledakan, dan pembakaran pada benda yang non-konduktor. Besaran ini adalah parameter yang penting untuk dipertimbangkan saat mengevaluasi dimensi/ukuran konduktor yang tersambar petir. Sambaran balik negatif biasanya memiliki nilai $5,5 \times 10^4 \text{ A}^2\text{s}$, sedangkan sambaran balik positif memiliki nilai $6,5 \times 10^5 \text{ A}^2\text{s}$.

2.10 Jenis-Jenis Sambaran Petir

2.10.1 Sambaran Petir Melalui Bangunan

Sambaran petir yang mengenai struktur rumah, kantor, dan bangunan tentunya sangat berbahaya bagi bangunan dan isinya, karena dapat menyebabkan kebakaran, kerusakan alat listrik/elektronik, bahkan kematian. Akibatnya, setiap bangunan harus memiliki instalasi penangkal petir. Memasang terminal penerima sambaran petir dan instalasi penunjang lainnya sesuai dengan standar yang telah ditetapkan merupakan salah satu teknik untuk menghadapinya. Selain itu, jika sambaran petir menyerang



manusia secara langsung, dapat menyebabkan cedera, dan bahkan kematian. Ada banyak kejadian sambaran petir langsung pada manusia, yang sebagian besar terjadi di lokasi terbuka.

2.10.2 Sambaran Petir Melalui Jaringan Listrik

Petir menyambar dan mengenai sesuatu di luar area gedung, namun berdampak pada jaringan listrik di dalam gedung. Hal ini dikarenakan sistem jaringan distribusi tenaga listrik/PLN menggunakan kabel udara terbuka dan letaknya sangat tinggi, sehingga jika petir menyambar kabel tersebut berdampak pada jaringan listrik di dalam gedung. Jika menyambar kabel yang membuka, arus petir akan diarahkan ke pengguna. Memasang alat arester sebagai alat pengamanan tegangan lebih merupakan salah satu teknik untuk menghadapinya. Sistem pentanahan diperlukan untuk pemasangan surge arrester listrik ini.

2.10.3 Sambaran Petir Melalui Jaringan Telekomunikasi

Sambaran petir ini hampir sama berbahayanya dengan yang kedua, namun akan mempengaruhi peralatan telekomunikasi seperti telepon dan PABX. Memasang arrester khusus untuk jaringan PABX yang terhubung ke grounding adalah salah satu cara untuk mengatasinya. Alat ini juga dapat mengamankan jaringan internet yang terhubung melalui jaringan telepon jika gedung yang akan dilindungi memilikinya.

Secara teori, keamanan suatu bangunan atau benda dari sambaran petir diberikan oleh penyedia sarana untuk menghantarkan arus petir ke bangunan yang akan kita lindungi tanpa melewati struktur bangunan yang bukan merupakan bagian dari sistem penangkal petir atau penangkal petir. instalasi, yang tentu saja harus memenuhi standar instalasi.

Kerapatan sambaran petir ke tanah (N_g) dapat dihitung dengan persamaan :

$$N_g = 4 \cdot 10^{-2} \cdot T_d^{1,26} \dots\dots\dots(2.10).$$

Untuk luas daerah permukaan tanah yang dianggap mempunyai frekuensi sambaran langsung tahunan dapat dihitung sebagai berikut :



$$A_e = ab + 6h(a+b) + 9\pi h^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

a = Panjang bangunan (m)

b = Lebar bangunan (m)

h = Tinggi bangunan (m)

T_d = Hari guruh rata-rata pertahun

N_g = Kerapatan sambaran petir ke tanah (sambaran/ Km^2 /tahun)

A_e = Luas daerah yang masih memiliki angka sambaran petir sebesar N_d (Km^2)

2.11 Kerusakan Akibat Sambaran Petir

Terdapat 2 jenis kerusakan yang disebabkan oleh sambaran petir yaitu :

2.11.1 Kerusakan Akibat Sambaran Langsung

Kerusakan akibat sambaran langsung terbagi menjadi 2, yaitu :

1) Terhadap Manusia

Jika sambaran petir menyebabkan arus listrik mengalir melalui tubuh manusia, organ-organ yang dilewati arus tersebut akan tersengat listrik. Arus listrik yang kuat dapat menghentikan detak jantung. Selanjutnya, efek rangsangan panas pada organ tubuh akibat arus petir dapat melumpuhkan jaringan otot bahkan menghanguskan tubuh manusia.

2) Terhadap Bangunan

Ketika sambaran petir menyebabkan arus listrik hingga 200 kA melewati sebuah bangunan, hal itu menyebabkan kerusakan termal dan mekanis. Bahan konstruksi kering, isolasi, atau semi-isolasi adalah yang paling rentan terhadap sambaran petir.

Jarak sambar (d_s) petir terhadap bangunan dapat dihitung dari persamaan yang banyak digunakan yaitu sebagai berikut:

$$d_s = 10 \cdot I^{0,65} \dots\dots\dots(2.12)$$

2.11.2 Kerusakan Akibat Sambaran Tidak Langsung

Karena sambaran petir di satu titik di suatu lokasi, konduksi induksi melalui kabel listrik atau PLN, telekomunikasi, pipa pompa, dan peralatan besi lainnya dapat mencapai 1 kilometer dari tempat sambaran petir, kerusakan ini sulit diidentifikasi secara jelas. Akibatnya, peralatan komputer, pemancar TV, radio, dan PABX semuanya hangus dan rusak tanpa ada yang mengenalinya. Misalkan petir menyambar tiang PLN di lokasi A sehingga menyebabkan tegangan atau arus mencapai dan merusak peralatan rumah sakit dan peralatan telekomunikasi di lokasi B. Karena jarak antara tiang PLN (A) dengan rumah sakit dan perangkat telekomunikasi (B) kurang dari atau sama dengan 1 km. Karena kemajuan teknologi yang begitu pesat, petir dapat menyebabkan kerusakan jaringan listrik dan peralatan elektronik yang lebih sensitif diakibatkan pelepasan muatan petir.

Pemasangan elektroda pembumian secara merata di sekitar gedung untuk mengurangi besarnya tegangan pembumian yang menumpuk. Memperdalam pentanahan elektroda pembumian sehingga arus petir dapat menyebar di permukaan bagian dalam tanah relatif terhadap muatan yang mengalir di permukaan tanah, menurunkan tegangan permukaan tanah. Gunakan sistem pentanahan berbentuk grid atau hubungkan sistem pipa ke elektroda pentanahan terdekat.

2.12 Proteksi Terhadap Sambaran Petir

Terdapat 2 jenis sistem proteksi untuk sambaran petir, yaitu :

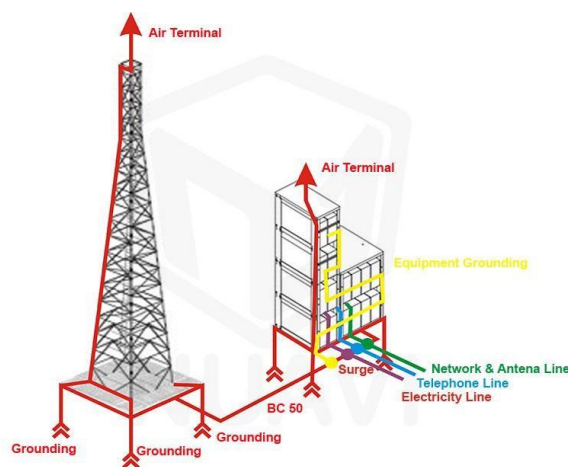
2.12.1 Penangkal Petir Eksternal

Penangkal petir eksternal adalah sistem anti-petir yang dibuat dan dipasang di atap atau gedung tertinggi di gedung. Pemasangan konduktor petir sangat mudah; berikut ini adalah beberapa komponen instalasi penghantar petir :

- Air Terminal

- Kabel penyalur
- Sistem pembumian

Proteksi dari petir Proteksi eksternal digunakan untuk menjaga terhadap sambaran petir langsung / Direct Strike. Sambaran langsung merusak struktur fisik atau aset eksternal dan sangat berbahaya karena dapat mengakibatkan kerusakan seperti kebakaran dan korban manusia. Gambar 2.8 menggambarkan bentuk penangkal petir eksternal.



Gambar 2. 8 Penangkal Petir Eksternal

2.12.2 Penangkal Petir Internal

Perlindungan internal biasanya berupa arus lemah yang dihasilkan oleh sambaran petir yang tidak disalurkan dengan benar ke sistem pentanahan. Sambaran petir langsung dapat menghasilkan medan magnet yang sangat kuat yang merambat melalui sistem instalasi listrik suatu bangunan medan magnet sering disebut sebagai induksi oleh ahli listrik. Disarankan dipasang sistem proteksi internal atau surge arrester untuk listrik, LAN dan PABX, atau peralatan elektronik lainnya yang hanya menggunakan arus lemah dalam pengoperasiannya, seperti CCTV, DVR, SERVER, dan lain-lain. Sistem proteksi petir bagian dalam bekerja dengan cara yang sama seperti sistem proteksi petir eksternal. Gambar 2.9 menggambarkan bentuk dari penangkal petir.



Gambar 2. 9 Surrge Arrester

Untuk mengetahui panjang radius proteksi bola bergulir-nya digunakan rumus berikut :

$$R = \sqrt{h_1(2ds - h_1)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Untuk mendapatkan nilai luas radius perlindungan tower bts dengan rumus sebagai berikut :

$$A = \pi \cdot R^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

h = Tinggi Tower Bts

R = Panjang radius proteksi bola bergulir

A = Luas Radius Perlindungan Tower Bts

2.13 Tower BTS

BTS merupakan singkatan dari Base Transceiver Station, atau stasiun pemancar dalam bahasa Indonesia. BTS juga dikenal sebagai Base Station (BS) atau Radio Base Station (RBS) (RBS). BTS adalah jenis infrastruktur telekomunikasi yang memfasilitasi komunikasi nirkabel antara jaringan operator dan perangkat komunikasi. Fungsi utama BTS adalah untuk mengirim dan menerima sinyal radio ke perangkat komunikasi seperti telepon rumah, telepon seluler, dan perangkat serupa lainnya. Sinyal radio kemudian diubah menjadi sinyal digital, yang kemudian ditransfer sebagai pesan atau data ke terminal lain.

Banyak orang salah untuk memahami BTS,. Secara umum, mereka percaya tower BTS adalah BTS itu sendiri. Tower BTS, pada kenyataannya, merupakan komponen dari perangkat BTS. Tower adalah struktur yang terdiri dari besi atau pipa. Bentuk tower BTS bisa bermacam-macam, beberapa memiliki kaki persegi panjang, kaki segitiga, dan beberapa hanya pipa panjang. Tower BTS biasanya memiliki tinggi antara 40 dan 75 meter. Panjang Tower BTS bervariasi menurut wilayah, tergantung pada faktor geografis dan area jangkauan jaringan yang dituju.



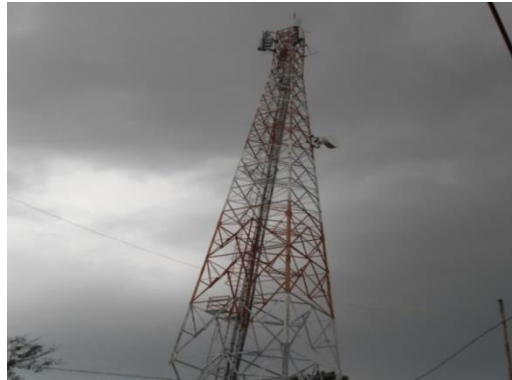
Gambar 2. 10 Tower BTS

2.14 Jenis-Jenis Tower BTS

Terdapat tiga macam tower BTS yang sering dijumpai di Indonesia yaitu tower empat kaki, tower tiga kaki dan tower satu kaki.

2.14.1 Tower 4 kaki / Rectangular Tower

Tower ini berbentuk persegi panjang dan memiliki empat kaki, sesuai dengan namanya. Tower ini diprediksi memiliki kekuatan yang optimal karena desainnya yang kokoh sehingga tidak mudah roboh. Tingginya 42 meter dan dapat menampung banyak antena dan radio. Perusahaan telekomunikasi terkemuka seperti Telkom, Indosat, XL, dan lainnya biasa menggunakan tower jenis ini karena harganya yang sangat mahal.



Gambar 2. 11 Tower 4 Kaki

2.14.2 Tower 3 kaki / Triangle Tower

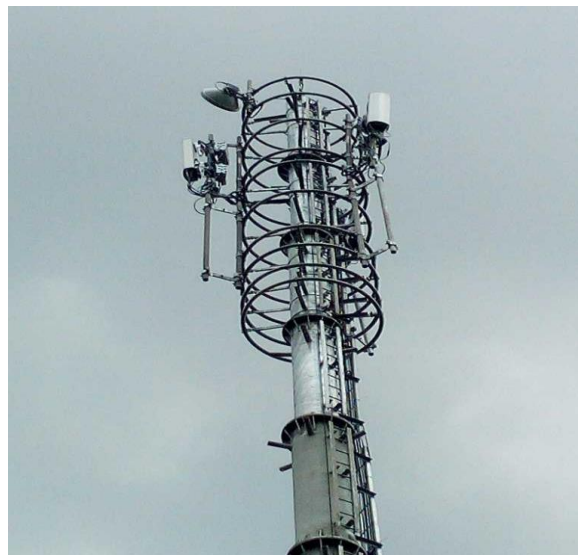
Tiga pondasi tower membentuk struktur segitiga ini. Setiap pondasi terdiri dari banyak bagian dengan panjang bervariasi dari 4-5 meter. Untuk menghindari hasil yang tidak diinginkan, seperti runtuh, menara ini harus terbuat dari besi dengan diameter lebih besar dari 2 cm. Ketinggian tower rata-rata adalah 40 meter, dengan ketinggian maksimum 60 meter. Semakin tinggi tingkat keamanan, semakin pendek tower. Keunggulan tower ini adalah komponennya lebih ringan, menurunkan biaya produksi dan transportasi.



Gambar 2. 12 Tower 3 Kaki

2.14.3 Tower 1 kaki/Pole

Karena banyak kekurangannya, bentuk tower ini tidak disarankan. Penerimaan sinyal tidak stabil. Tower ini terdiri dari dua jenis, pertama terbuat dari pipa/pelat baja tanpa kunci pas dengan diameter 40 cm sampai 50 cm dan tinggi rata-rata 42 meter. Kedua, tower ini dibangun dengan kunci pas yang tidak melebihi 20 meter, tower ini mudah terguncang, dan mengganggu sistem koneksi data, sehingga sering mencari data terus-menerus di komputer.



Gambar 2. 13 Tower 1 Kaki

2.15 Komponen Utama Tower BTS

Terdapat sembilan komponen penting yang harus dimiliki oleh tower BTS yaitu:

2.15.1 Antena Sectoral

Antena ini berbentuk persegi panjang dan ditempatkan di bagian paling atas. Tujuannya adalah untuk menghubungkan BTS ke perangkat komunikasi seperti ponsel. Ada dua jenis antena ini: monotype, yang digunakan di daerah pedesaan dan pinggiran kota, dan dual type, yang

digunakan di daerah perkotaan. Jenis Ganda, yang biasa ditemukan di lingkungan metropolitan, adalah yang kedua.



Gambar 2. 14 Antena Sectoral

2.15.2 Antena Microwave

Saat kita menjumpai tower BTS pasti ada satu bagian yang tampak seperti gendang rebana, itulah yang dimaksud antena microwave. Tugasnya adalah menerima dan mengirimkan gelombang radio dari BTS ke BSC atau BTS ke BTS lain.



Gambar 2. 15 Antena Microwave

2.15.3 Shelter

Shelter ini berfungsi untuk menyimpan peralatan, biasanya ada di samping tower.



Gambar 2. 16 Shelter

2.15.4 Microwave System

Ada dua jenis unit dalam sistem ini: indoor dan outdoor. Keduanya dihubungkan oleh kabel coaxial. Unit indoor terletak di dalam shelter, sedangkan unit outdoor terhubung ke antena microwave.



Gambar 2. 17 Microwave System

2.15.5 Rectifier

Sistem ini bertanggung jawab untuk mengubah tegangan bolak-balik PLN 220/380 volt menjadi tegangan arus searah untuk transmisi ke BTS.



Gambar 2. 18 Rectifier

2.15.6 Baterai

Didalam BTS terdapat baterai yang gunanya sebagai cadangan power apabila terjadi pemadaman listrik. Ketahanan baterai mencapai 3-4 jam.



Gambar 2. 19 Baterai

2.15.7 Tower Sentral

Tower ini, serta sistem pentanahan yang mengendalikannya. Tujuannya adalah sebagai platform untuk pemasangan antena dan feeder.



Gambar 2. 20 Tower Sentral

2.15.8 Feeder

Merupakan kabel besar yang dijadikan media rambat gelombang radio antara BTS dengan antena sector.



Gambar 2. 21 Feeder

2.15.9 Dynaspere

Merupakan alat yang digunakan untuk melindungi tower dari sambaran petir.



Gambar 2. 22 Dynaspere

2.16 Earth Tester

Besarnya tahanan pentanahan sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pentanahan dalam suatu sistem pengamanan pada instalasi listrik. Earth Tester merupakan alat untuk menguji nilai tahanan pentanahan. Alat ukur analog digunakan untuk menentukan besarnya tahanan tanah pada suatu daerah tertentu. Saat membaca hasil pengukuran analog, ada kemungkinan Anda akan melakukan kesalahan. Untuk mengatasi masalah ini, peralatan pengukuran resistansi pentanahan digital dengan kemampuan untuk menginterpretasikan nilai resistansi yang diamati telah dikembangkan.

Elektroda E (tanah), elektroda P (Potensial), dan elektroda C (Arus) adalah tiga elektroda pbumian yang digunakan dalam konstruksi peralatan pengukuran tahanan pbumian digital. Tujuan dari penggunaan ketiga elektroda tersebut adalah untuk menilai kemampuan hambatan dalam mengalirkan arus listrik. Rangkaian osilator, rangkaian tegangan masukan, rangkaian arus masukan, mikrokontroler, dan rangkaian tampilan semuanya termasuk dalam desain rangkaian blok instrumen pengukuran tahanan tanah ini. Data diolah dalam rangkaian mikrokontroler sebelum hasil pengukuran ditampilkan pada LCD. Manfaat menggunakan mikrokontroler ini adalah keluaran dari rangkaian masukan ini dapat dimodifikasi sebelum masuk ke LCD. Hasilnya, desain meteran tahanan tanah digital ini memungkinkannya mengukur tahanan tanah dengan tepat. Hasil pengukuran ketahanan tanah juga dipengaruhi oleh keadaan tanah.



Gambar 2. 23 Earth Tester