



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi ke bumi/tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik, dan mengamankan komponen - komponen instalasi dari bahaya tegangan/arus abnormal.

Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkakah;
2. Menjamin kerja peralatan listrik/elektronik;
3. Mencegah kerusakan peralatan listrik/elektronik;
4. Menyalurkan energi serangan petir ke tanah;
5. Menstabilkan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya flashover ketika terjadi transien
6. Mengalihkan energi RF liar dari peralatan-peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan komputer.

2.2 Syarat Sistem Pentanahan

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut :

1. Membuat jalur resistansi rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkain yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surge currents).
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang lindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.



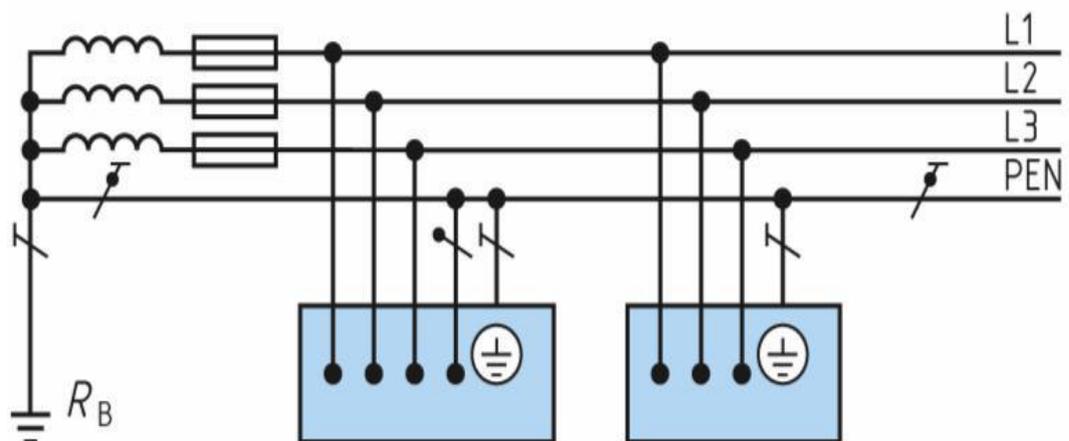
2.3 Jenis Sistem Pentanahan

Ada bermacam-macam pentanahan sistem. Antara satu dan lainnya mempunyai kelebihan dan kekurangan masing. Bahasan berikut ini tidak dimaksudkan membahas kekurangan dan kelebihan metoda tersebut, namun lebih menitikberatkan pada macam-macam pentanahan titik netral yang umum digunakan. Jenis pentanahan sistem akan menentukan skema proteksinya, oleh karena itu, jenis pentanahan ini sangat penting diketahui.

Ada lima macam sistem pentanahan yaitu:

2.3.1 TN-C (Terra Neutral-Combined): Saluran Tanah dan Netral-Disatukan

Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman disatukan pada sistem secara keseluruhan. Semua bagian sistem mempunyai saluran PEN yang merupakan kombinasi antara saluran N dan PE. Disini seluruh bagian sistem mempunyai saluran PEN yang sama.



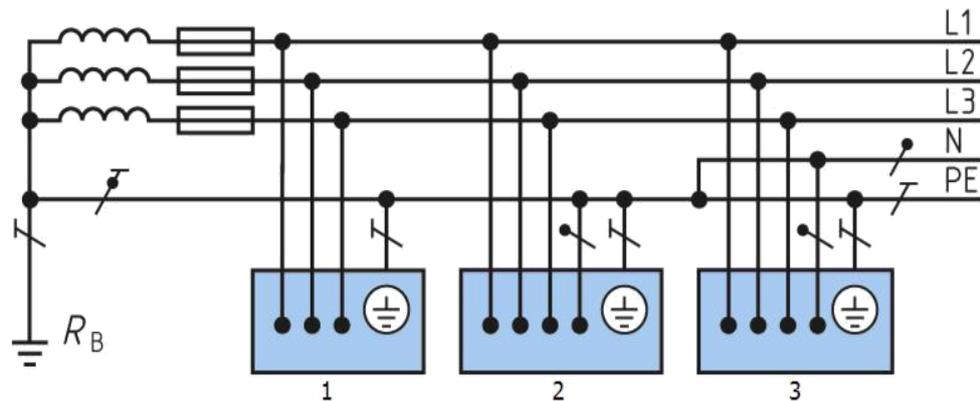
Gambar 2.1 Saluran Tanah dan Netral disatukan (TN-C)

2.3.2 TN-C-S (Terra Neutral-Combined-Separated): Saluran Tanah dan Netral-disatukan dan dipisah

Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem yang lain. Di sini



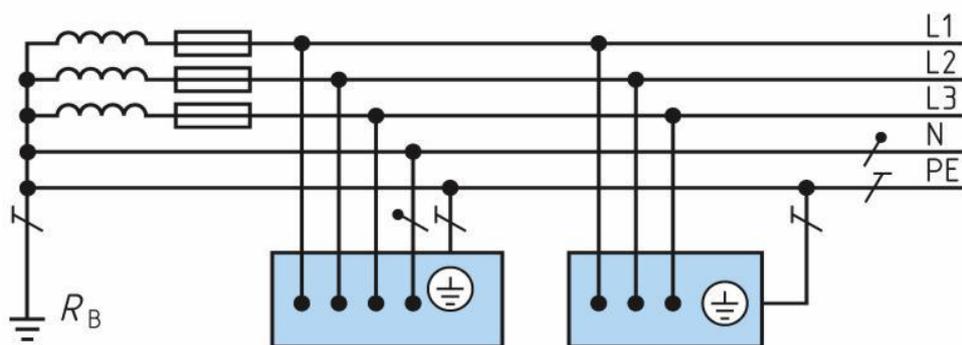
terlihat bahwa bagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (combined). Sedangkan pada bagian sistem 3 menggunakan dua hantaran, N dan PE secara terpisah (separated).



Gambar 2.2 Saluran Tanah dan Netral disatukan pada sebagian sistem (TN-C-S)

2.3.3 TN-S (Terra Neutral-Separated): Saluran Tanah dan Netral-dipisah

Pada sistem ini saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan. Jadi semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara tersendiri (separated).



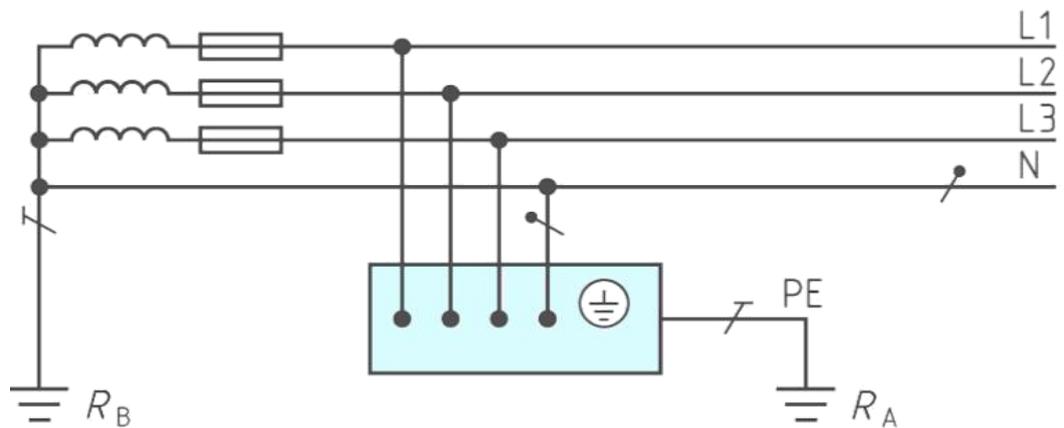
Gambar 2.3 Saluran Tanah dan Netral dipisah (TN-S)

2.3.4 TT (Terra Terra) system: Saluran Tanah dan Tanah

Sistem yang titik netralnya disambung langsung ke tanah, namun bagian-bagian instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pentanahan yang



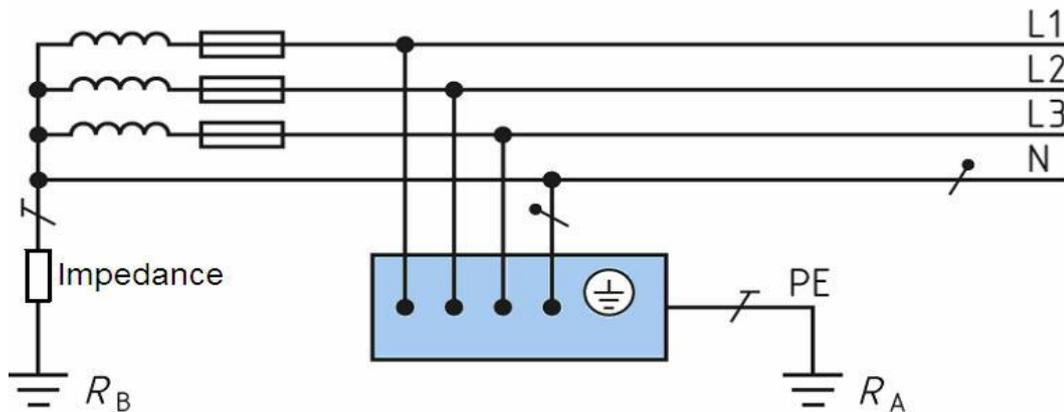
berbeda (berdiri sendiri). Dari gambar di bawah ini terlihat bahwa pentanahan peralatan dilakukan melalui sistem pentanahan yang berbeda dengan pentanahan titik netral.



Gambar 2.4 Saluran Tanah Sistem dan Saluran Bagian Sistem Terpisah (TT)

2.3.5 IT (Impedance Terra) System: Saluran Tanah melalui Impedansi

Sistem rangkaian tidak mempunyai hubungan langsung ke tanah namun melalui suatu impedansi, sedangkan bagian konduktif instalasi dihubungkan langsung ke elektroda pentanahan secara terpisah. Sistem ini juga disebut sistem pentanahan impedansi. Ada beberapa jenis sambungan titik netral secara tidak langsung ini, yaitu melalui reaktansi, tahanan dan kumparan petersen. Antara ketiga jenis media sambungan ini mempunyai kelebihan dan kekurangan. Namun, secara teknis jenis sambungan kumparan petersen yang mempunyai kinerja terbaik. Permasalahannya adalah harganya yang mahal.



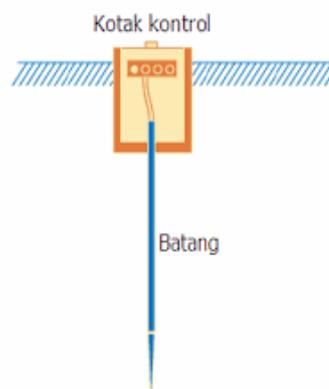
Gambar 2.5 Saluran Tanah Melalui Impedansi (IT)

2.4 Komponen Sistem Pentanahan

2.4.1 Elektroda Pentanahan

Pada prinsipnya jenis elektroda dipilih yang mempunyai kontak sangat baik terhadap tanah. Berikut ini penjelasan mengenai jenis-jenis elektroda pentanahan :

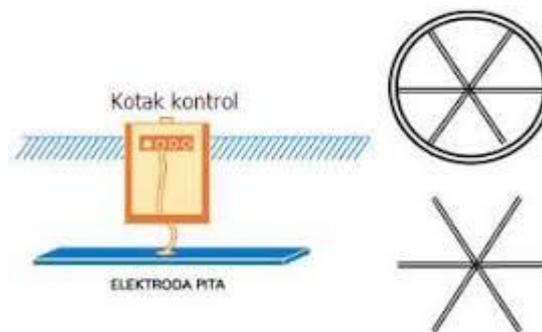
1. Elektroda Batang (Rod), yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis ini. Elektroda ini banyak digunakan di gardu induk-gardu induk. Secara teknis, elektroda batang ini mudah pemasangannya, yaitu tinggal memancangkannya ke dalam tanah. Disamping itu, elektroda ini tidak memerlukan lahan yang luas.



Gambar 2.6 Elektroda Batang (Rod)

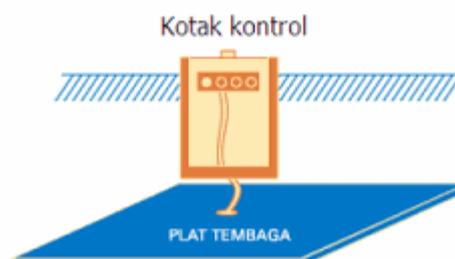


2. Elektroda Pita, yaitu elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Kalau pada elektroda jenis batang, pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapati lapisan-lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan secara vertikal ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar (horisontal) dan dangkal. Di samping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antar keduanya.



Gambar 2.7 Elektroda Pita dan Konfigurasinya

3. Elektroda Pelat, yaitu elektroda dari bahan pelat logam (utuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.^[3]



Gambar 2.8 Elektroda Pelat



4. Jenis Elektroda Lain, seperti :

- Jika jaringan pipa air minum dari logam dipakai sebagai elektrode bumi, maka harus diperhatikan bahwa resistans pentanahannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau flens dari bahan isolasi. Resistans pentanahan yang terlalu besar harus diturunkan dengan menghubungkan jaringan tersebut dengan elektrode tambahan (misalnya selubung logam kabel).
- Jika pipa air minum dari logam dalam rumah atau gedung dipakai sebagai penghantar bumi, ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm² , atau dengan pita baja digalvanisasi dengan ukuran minimum 25 mm² (tebal pita minimum 3 mm).
- Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan bahan isolasi yang langsung ditanam dalam tanah boleh dipakai sebagai elektrode bumi, jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitas minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut :
 - a. 4 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm²;
 - b. 10 mm² tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm² atau lebih.

**Tabel 2.1 Ukuran Minimum Elektroda Bumi**

No	Bahan Jenis Elektroda	1	2	3
		Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektroda Pita	Pita baja 100 mm ² setebal minimum 3 mm		Pita tembaga 50 mm ² tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2	Elektroda Batang	- Pipa baja 25 mm - Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektroda Pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²

2.4.2 Hantaran Penghubung

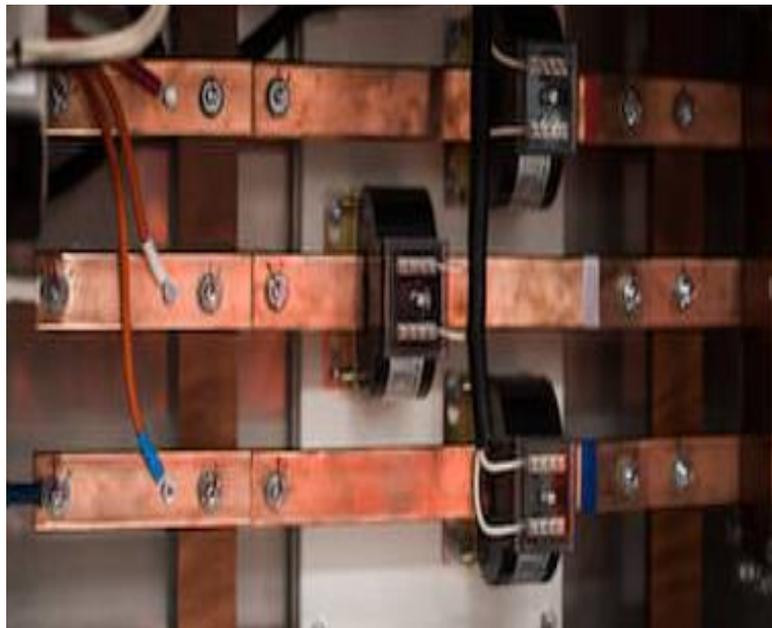
Hantaran Penghubung adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan konduktor, seperti tembaga dan metal yang berfungsi sebagai penghubung antara kutub pentanahan dengan terminal, hantaran ini biasanya berupa kawat tembaga pilin atau BC draad dengan diameter minimal 16 mm².



Gambar 2.9 Kawat BC

2.4.3 Terminal Pentanahan

Hantaran Penghubung adalah terminal atau titik dimana kita hubungkan dengan perangkat kita. Biasanya berupa lempeng tembaga cukup panjangnya 15 cm, lebar 3 cm dan tebal 1 cm.



Gambar 2.10 Terminal Pentanahan

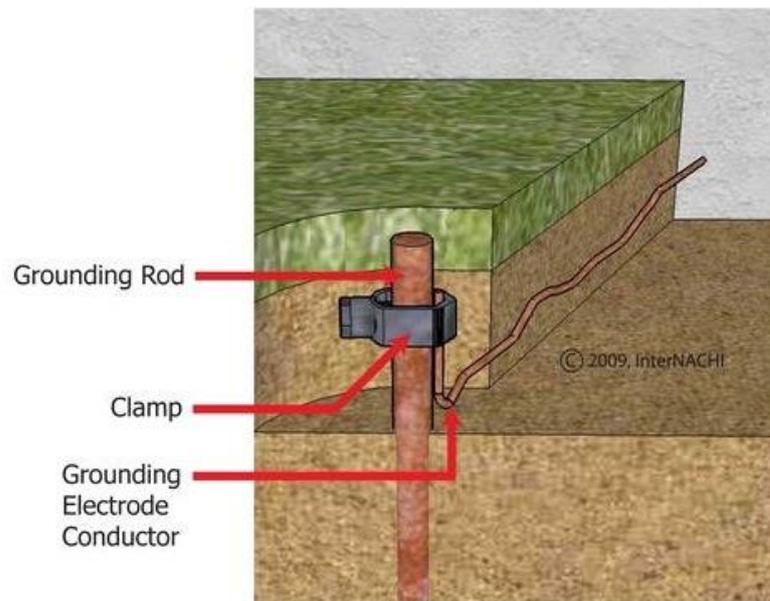


2.4.4 Ground Clamp

Ground Clamp adalah suatu komponen yang terbuat dari bahan konduktor seperti metal ataupun tembaga sebagai pengikat dan penghubung kawat penghantar ke pangkal elektroda.



Gambar 2.11 Ground Clamp



Gambar 2.12 Komponen Sistem Pentanahan

2.4.5 Ground Rod

Alat ini digunakan ketika kita akan menyambung beberapa segmen *copper rod* atau *ground rod* yang dimasukkan kedalam tanah sehingga *copper rod* atau *ground rod* yang masuk kedalam tanah akan lebih panjang, misalnya ketika kita akan membuat grounding penangkal petir atau anti petir sedalam 12



meter dengan menggunakan *copper rod*, maka alat ini sangat diperlukan karena *copper rod* yang umumnya



Gambar. 2.13 Ground Rod

2.5 Tahanan Pentanahan

Seperti yang telah disampaikan di awal bahwa tahanan pentanahan diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah:

1. **Bentuk elektroda.** Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
2. **Jenis bahan dan ukuran elektroda.** Sebagai konsekuensi peletakannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.
3. **Jumlah/konfigurasi elektroda.** Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemancangannya di dalam tanah.



4. **Kedalaman pemancangan/penanaman di dalam tanah.** Pemancangan ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.
5. **Faktor-faktor alam. Jenis tanah:** tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lainlain; **moisture tanah:** semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah; **kandungan mineral tanah:** semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi; dan **suhu tanah:** suhu akan berpengaruh bila mencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

2.6 Tahanan Jenis Tanah

Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan Ohm-meter, yang mempersentasikan tahanan tanah yang diukur dari tanah yang berbentuk kubus bersisi 1 meter.

Yang menentukan tahanan jenis tanah ini tidak hanya tergantung pada jenis tanah saja melainkan dipengaruhi oleh kandungan moistur, kandungan mineral yang dimiliki dan suhu (suhu tidak berpengaruh bila di atas titik beku air). Oleh karena itu, tahanan jenis tanah bisa berbeda-beda dari satu tempat dengan tempat lain tergantung dari sifat-sifat yang dimilikinya. Sebagai pedoman kasar, tabel 2.2 ini berisikan tahanan jenis tanah yang ada di Indonesia.

**Tabel 2.2 Resistansi Jenis Tanah**

1	2	3	4	5	6	7
Jenis Tanah	Tanah Rawa	Tanah Liat dan Tanah Ladang	Pasir Basah	Kerikil Basah	Pasir dan Kerikil Kering	Tanah Berbatu
Resistansi Jenis (Ω -m)	30	100	200	500	1000	3000

Pengetahuan ini sangat penting khususnya bagi para perancang sistem pentanahan. Sebelum melakukan tindakan lain, yang pertama untuk diketahui terlebih dahulu adalah sifat-sifat tanah dimana akan dipasang elektroda pentanahan untuk mengetahui tahanan jenis pentanahan. Apabila perlu dilakukan pengukuran tahanan tanah. Namun perlu diketahui bahwa sifat-sifat tanah bisa jadi berubah-ubah antara musim yang satu dan musim yang lain. Hal ini harus betul-betul dipertimbangkan dalam perancangan sistem pentanahan. Bila terjadi hal semacam ini, maka yang bisa digunakan sebagai patokan adalah kondisi kapan tahanan jenis pentanahan yang tertinggi. Ini sebagai antisipasi agar tahanan pentanahan tetap memenuhi syarat pada musim kapan tahanan jenis pentanahan tertinggi, misalnya ketika musim kemarau.

2.7 Faktor – Faktor Yang Mempengaruhi Sistem Pembumian

Tahanan pentanahan pada elektroda dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

1. Tahanan dari elektroda pentanahan.
2. Tahanan elektroda pentanahan dengan kontak tanah disekelilingnya.
3. Tahanan jenis tanah.

Dari ketiga faktor diatas, diharapkan nilai tahanan pentanahan dapat sekecil mungkin. Namun kenyataannya di lapangan tidak selalu didapatkan nilai tahanan pembumian yang sesuai atau diharapkan.



Nilai tahanan dalam sistem pentanahan diharapkan memiliki nilai yang serendah mungkin. Elektroda pentanahan yang ditanamkan ke dalam tanah diharapkan memperoleh tahanan yang rendah, namun hal ini sangat susah diperoleh. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap nilai tahanan pentanahan antara lain :

1. Faktor Internal

- a. **Bentuk elektroda.** Ada beberapa macam bentuk dari elektroda itu sendiri yang banyak digunakan pada umumnya, seperti jenis batang, jenis pita, dan jenis plat.
- b. **Jenis bahan dan ukuran elektroda.** Resiko dari penempatannya di dalam tanah adalah elektroda yang dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas yang sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah misalnya korosi. Ukuran elektroda dipilih harus mempunyai kontak paling efektif dengan tanah. Prinsip dasar untuk memperoleh resistansi pembumian yang
- c. **Jumlah atau konfigurasi elektroda.** Untuk memperoleh tahanan pentanahan yang diinginkan dan jika tidak memenuhi standar yang ditentukan dengan satu buah elektroda maka dapat digunakan metode parallel dengan cara menambah jumlah elektroda dengan bermacam konfigurasi pemasangannya di dalam tanah.
- d. **Kedalaman penanaman atau pemasangan di dalam tanah.** Untuk kedalaman pemasangan elektroda pembumian tergantung dari pada jenis dan sifat-sifat tanah. Ada dua kondisi yaitu ada yang efektif ditanam secara dalam untuk jenis tanah yang kering dan berbatu, namun ada juga yang cukup ditanam secara dangkal untuk jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat, dan lain-lain.

2. Faktor Eksternal

- a. Karakteristik (Sifat Geologi) Tanah

Tahanan jenis tanah (ohm-meter) adalah nilai resistansi dari bumi yang menggambarkan nilai konduktivitas listrik bumi dan didefinisikan sebagai tahanan dalam ohm antara permukaan yang berlawanan dari suatu kubus satu meter kubik.

Pentingnya mengetahui tahanan jenis tanah mempunyai manfaat yang



penting yaitu :

1. Beberapa data yang diperoleh dari survey geofisika dibawah permukaan tanah dapat membantu untuk mengidentifikasi lokasi pertambangan, kedalaman batubatuan, dan kejadian geologi lainnya.
2. Tahanan jenis tanah mempunyai pengaruh langsung terhadap pipa-pipa bawah tanah. Jika tahanan jenis tanah semakin meningkat maka aktivitas korosi akan semakin meningkat juga.
3. Tahanan jenis lapisan tanah mempunyai pengaruh langsung dalam sistem pembumian. Ketika merencanakan sistem pembumian, ada baiknya mencari lokasi yang mempunyai tahanan jenis tanah yang terkecil agar dapat mencapai instalasi pentanahan yang paling ekonomis.

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ . Nilai tahanan jenis tanah dalam kedalaman tertentu tergantung pada beberapa faktor antara lain :

1. Jenis tanah
 2. Lapisan tanah
 3. Komposisi kimia dari kandungan air dan larutan garam
 4. Kelembaban tanah
 5. Temperatur tanah
 6. Kepadatan tanah
- b. Komposisi Zat Kimia Dalam Tanah

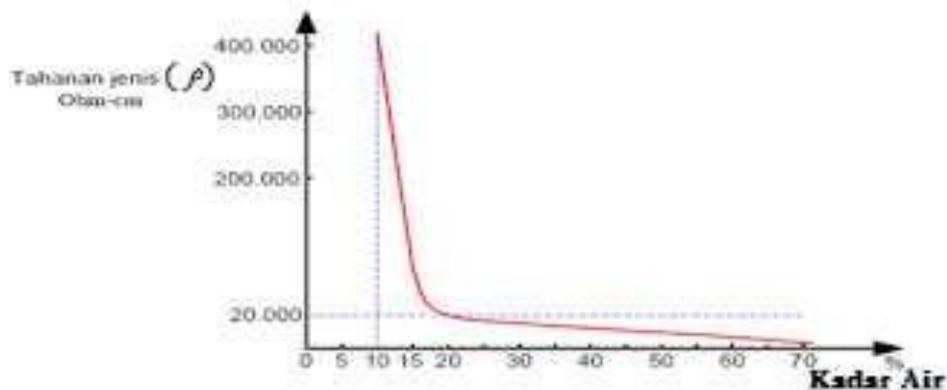
Kadungan zat-zat kimia yang terdapat dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun non-organik yang dapat larut perlu diperhatikan karena di daerah yang mempunyai intensitas curah hujan yang tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi. Hal ini disebabkan oleh garam yang terkandung pada lapisan atas larut bersama air hujan. Pada daerah yang intensitas curah hujan yang tinggi untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan cara menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.



c. Kandungan Air Tanah

Dalam mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pentanahan dapat dilakukan dengan cara menanam elektroda pentanahan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah. Ketika kelembaban dan temperatur bervariasi di sekitar elektroda pentanahan membuat harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk mengantisipasi keadaan paling buruk, yaitu pada keadaan tanah dingin dan tanah kering. Tahanan jenis tanah akan mempengaruhi besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah apabila konduktivitas tanah semakin besar, maka tahanan jenis tanah semakin kecil. Kandungan air tanah sangat mempengaruhi perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik sampai 30kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sangat sedikit sekali. Tahanan pentanahan tidaklah konstan karena terjadi perubahan musim dan kadar air dalam tanah.

Besar atau kecilnya konsentrasi air di dalam tanah sangat berpengaruh pada harga tahanan tanah. Apabila tanah lembab atau semakin banyak kandungan air maka makin kecil harga tahanan tanahnya karena sifat air yang konduktif. Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air dibawah 10% mempunyai tahanan jenis tanah yang besar sekali. Dapat dilihat dibawah ini grafik hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah.



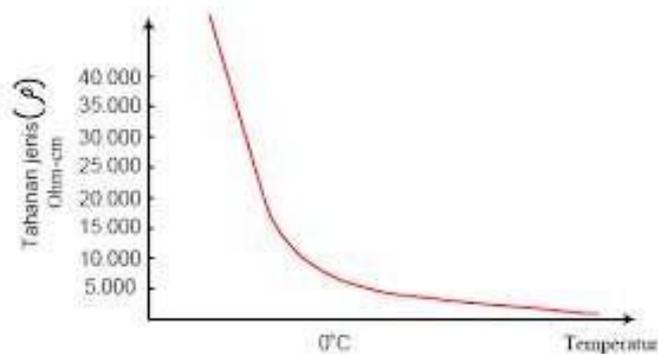
Gambar 2.14 Hubungan antara konsentrasi air dengan tahanan jenis tanah



Atas dasar prinsip diatas, maka harus diusahakan suatu elektroda pentanahan ditanam sampai mencapai air tanah. Dengan menanam elektroda tanah dibawah permukaan air tanah dapat menjamin harga tahanan pentanahan tidak banyak bervariasi terhadap cuaca.

d. Temperatur Tanah

Temperatur tanah disekitar elektroda pentanahan dapat mempengaruhi pada besarnya tahanan jenis tanah. Hali ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur dibawah titik beku air (0°C). Di bawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan nilai tahanan jenis tanah dengan cepat. Gejala diatas dapat dijelaskan sebagai berikut : pada temperature dibawah titik beku air (0°C), air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi sangat rendah. Jika temperature tanah naik, air akan berubah menjadi fase cair. Molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun. Dibawah ini adalah grafik hubungan antara temperature dengan tahanan jenis tanah.



Gambar 2.15 Hubungan Antara Temperatur Dengan Tahanan Jenis Tanah

2.8 Menghitung Tahanan Pentanahan

Berikut rumus pendekatan yang biasa digunakan untuk elektroda batang dikembangkan oleh *Proff. H.B Dwight* dari *Institut Teknologi Massachusetts* yaitu:



1. Satu batang elektroda ;

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.1)$$

2. Dua batang elektroda ;

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi L} \left(1 - \frac{L^2}{3S^2} + \frac{2L^4}{5S^4} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

ρ =Tahanan jenis tanah (ohm-cm)

s = Jarak antar elektroda (cm)

L = Kedalaman pemancangan elektroda (dari permukaan tanah sampai ujung elektroda) (cm)

a = Jari-jari penampang elektroda atau pasak tanah (cm)

R = Tahanan elektroda atau pasak ke tanah (ohm)^[7]

3. Perhitungan tanah Liat dan Ladang

Panjang elektroda (LR) : -

Diameter elektroda (AR) : -

Tahanan jenis tanah : -

$$R_G = R_R = \frac{\rho}{2\pi LR} \left(\ln \frac{LR}{AR} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.3)$$