



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan (*grounding*) mulai dikenal pada tahun 1900 sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem-sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan jarak jangkauan semakin jauh, harus diperlukan sistem pentanahan. Jika tidak, hal ini biasanya menimbulkan bahaya listrik yang sangat tinggi, baik bagi manusia, peralatan dan sistem pelayannya sendiri.

Peralatan atau pembumian merupakan suatu usaha untuk mengamankan sistem instalasi listrik dengan cara mentanahkan badan (*body*) peralatan instalasi tersebut menggunakan elektroda pentanahan yang ditanamkan ke dalam tanah serta dihubungkan melalui suatu penghantar.

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.¹

Pentanahan tidak terbatas pada sistem tenaga saja, namun mencakup juga sistem peralatan elektronik, seperti telekomunikasi, komputer, kontrol dimana diterapkan komunikasi data secara intensif dan sangat peka terhadap gelombang elektromagnet dari luar.

Sistem pentanahan harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut²:

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan dan menggunakan rangkaian yang efektif.

¹ Sumardjati, Prih dkk, 2008, Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1, Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

² Pabla, As dan Abdul Hadi, 1991, Sistem Distribusi Daya Listrik, Jakarta : Erlangga



2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung.
3. Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi atau diamankan.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Tujuan Sistem Pentanahan

Tujuan utama dari sistem pentanahan adalah menciptakan jalur yang *low-impedance* (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik atau *transient*. Sistem pentanahan yang efektif akan meminimalkan efek tersebut. Adapun tujuan sistem pentanahan secara umum adalah sebagai berikut:

1. Menjamin keselamatan orang dari sengatan listrik baik dalam keadaan normal atau tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
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 *transient*.
6. Menghentikan energi RF liar dari peralatan – peralatan seperti: audio, video, kontrol, dan computer.

Sedangkan, menurut IEEE Std 142TM-2007 4, tujuan sistem pentanahan adalah sebagai berikut:

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan



bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut

Selain itu sistem pentanahan mempunyai tiga tujuan yaitu³ :

1. Pengamanan terhadap tegangan lebih, Petir, surja, sentara, atau hubungan yang tidak diinginkan dengan tegangan tinggi dapat menimbulkan tegangan yang berlebih pada sistem distribusi atau instalasi. Pentanahan akan memberikan jalur alternatif bagi sistem yang dilindungi sehingga memperkecil kerusakan atau bahaya yang ditimbulkan karena hal-hal tersebut
2. Sumber tegangan listrik dapat berasal dari berbagai peralatan. Transfotmator dapat dipandang sebagai sumber yang terpisah. Jika tidak ada satu titik acuan bersama untuk semua sumber tegangan itu akan sulit mrnghitung hubungan antara yang satu dengan yang lain. Bumi merupakan permukaan penghantar yang selalu ada dimana-mana. Bumi selalu dimanfaatkan sebagai acuan baku di tegangan nol dalam sistem tenaga listrik.
3. Jalur arus bumi untuk memfasilitasi tata kerja peralatan arus lebih. Tujuan utama pentanahan ini adalah untuk keselamatan. Bila semua bagian peralatan listrik yang mengandung logam ditanahkan, maka jika terjadi kegagalan isolasi dalam peralatan itu tidak akan menimbulkan bahaya bagi pemegangnya. Jika ada bagian kawat yang berlistrik menyentuh bagian logam yang ditanahkan itu, akan terjadi hubungan singkat ke tanah dan sekring atau sistem pengaman lain akan bekerja dan memutuskan hubungan listrik itu.

Secara singkat tujuan pembumian itu dapat diformulasikan sebagai berikut :

1. Mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya untuk orang dalam daerah itu.
- 2 Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan pada bangunan maupun isinya.
3. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

³ Mismail, B,2011, Dasar Teknik Elektro Jilid 3 : Sistem Tenaga dan Telekomunikasi. Malang : Universitas Brawijaya.



2.3 Komponen Sistem Pentanahan

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian, yaitu hantaran penghubung dan elektroda pentanahan.

1. Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar yang menghubungkan titik kontak pada badan atau kerangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Fungsi hantaran penghubung adalah untuk menyalurkan arus gangguan ke elektroda pada sistem pentanahan. Penghantar yang digunakan dapat berupa penghantar yang berisolasi atau kabel dan juga penghantar yang tidak berisolasi seperti BC (*Bare conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*). Bahan yang digunakan kebanyakan terbuat dari aluminium dan tembaga. Dalam hal pentanahan untuk peralatan sering digunakan penghantar dengan tembaga atau BC.

Antara hantaran penghubung dan elektroda pentanahan harus dipasang sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistansi pembumian sehingga penempatan sambungan tersebut harus pada tempat yang mudah dicapai. Sambungan hantaran penghubung ini dengan elektroda harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan baik misalnya dengan menggunakan penyambungan las, klem, atau baut kunci yang mudah lepas. Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10mm². Selain faktor diatas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar penghantar penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa lama terjamin.

2. Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang.



Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

1. Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil daripada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat terbesar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.

2.4 Fungsi Sistem Pentanahan

Sistem *grounding* pada peralatan kelistrikan dan elektronika adalah untuk memberikan perlindungan pada seluruh sistem. Untuk lebih jelasnya, berikut ini adalah beberapa fungsi dari *grounding*⁴:

1. Untuk keselamatan, *grounding* berfungsi sebagai penghantar arus listrik langsung ke bumi atau tanah saat terjadi kebocoran isolasi atau percikan api pada konsleting, misalnya kabel *grounding* yang terpasang pada badan alat elektronik seperti setrika listrik akan mencegah kita tersengat listrik saat rangkaian di dalam setrika bocor dan menempel ke badan setrika.
2. Dalam instalasi penangkal petir, *grounding system* berfungsi sebagai penghantar arus listrik yang besar langsung ke bumi. Meski sifatnya sama, namun pemasangan kabel *grounding* untuk instalasi rumah dan *grounding* untuk penangkal petir pemasangannya harus terpisah.
3. Sebagai proteksi peralatan elektronik atau instrumentasi sehingga dapat mencegah kerusakan akibat adanya bocor tegangan.
4. *Grounding* di dunia elektronika berfungsi untuk menetralkan cacat (*noise*) yang disebabkan baik oleh daya yang kurang baik, ataupun kualitas komponen yang tidak standar.

⁴ Hendi, 2016, *Mengenal Listrik Lebih Baik Dari Segala Sisi*. Jakarta : PT. Elex Media Komputindo, Hal. 57



Bila kabel *grounding* berfungsi sebagai penghantar arus, maka alat yang mendeteksi adanya arus sisa atau arus bocor adalah ELCB. ELCB ini adalah sebagai proteksi instalasi listrik sebagai pencegah arus bocor.

2.5 Persyaratan Sistem Pentanahan

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

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem harus merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Verifikasi secara visual dapat dilakukan.
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
4. Elektroda yang ditanam harus tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, konduktor yang baik dan cukup kuat.
5. Tanah pentanahan harus memenuhi syarat diinginkan sesuai keperluan pemakaian dan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.
6. Tidak menjadi sumber arus galvanis.
7. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat *surge current*.
8. Semua komponen metal harus ditahan/diikat oleh sistem pentanahan, dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama.
9. Biaya pemasangan serendah mungkin

2.6 Bagian Sistem Pentanahan

sistem pentanahan sangat tergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisanya) dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut. Beberapa jenis tanah mempengaruhi pemilihan jenis alat pentanahan dan perencanaan *grounding system*nya. Baik tanah liat, tanah sawah, tanah tambak masing-masing memiliki nilai pentanahan yang berbeda-beda . Dalam suatu pentanahan baik



penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah berapa besar impedansi sistem pentanahan tersebut. Besar impedansi (tahanan) pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor.

Faktor internal meliputi :

1. Dimensi konduktor pentanahan (diameter atau panjangnya).
2. Resistivitas (nilai tahanan) relative tanah.
3. Konfigurasi sistem pentanahan.

Faktor eksternal meliputi :

1. Bentuk arusnya (pulse, sinusoidal, searah).
2. Frekuensi yang mengalir ke dalam sistem pentanahan.

2.7 Jenis Pentanahan

Secara garis besar sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi tiga yaitu sebagai berikut :

2.7.1 Pentanahan Sistem

Sistem dengan titik netral ditanahkan adalah suatu sistem yang titik netral dari sistem tersebut engaja dihubungkan ke tanah, baik melalui impedansi maupun secara langsung.

Adapun tujuan pentanahan titik netral sistem adalah sebagai berikut :

1. Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
2. Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
3. Meningkatkan keandalan (*realibility*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
4. Mengurangi/membatasi tegangan lebih *transient* yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (*restrike ground fault*).
5. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.



2.7.2 Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan berlainan dengan pentanahan sistem, yaitu pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja tidak dilalui arus. Tujuan dari pentanahan peralatan tersebut adalah⁵:

1. Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dan antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan peralatan atau instalasi dibutuhkan. Sistem pentanahan ini gunanya adalah untuk memperoleh potensial yang merata (*uniform*) dalam semua bagian struktur dan peralatan, dan juga untuk menjaga agar operator atau orang yang berada di daerah instalasi itu berada pada potensial yang sama dan tidak bahaya pada setiap waktu. Dengan dicapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam daerah sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia sewaktu terjadi hubung singkat kawat ketanah menjadi sangat kecil.
2. Tujuan kedua dari adalah untuk memperoleh impedansi yang kecil atau rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah. Kecelakaan individu manusia dan hewan yang terjadi pada saat terjadinya hubung singkat ke tanah. Jadi bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Juga impedansi yang besar pada sambungan pada rangkaian pengetanahan dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang besarnya cukup menyalakan material yang mudah terbakar.

2.7.3 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada

⁵ Aslimeri, dkk, 2008 Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2, Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Hal. 254



bangunan akibat sambaran petir ini akan mengakibatkan ke langsung objek tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi tanpa merusak benda disekitarnya.

2.8 Keuntungan Pentanahan

1. Semua sistem kelistrikan berada dalam potensial yang seragam dan tidak dimungkinkan adanya tegangan yang mengambang.
2. Dengan menghubungkan benda kerja yang terbuat dari logam ke tanah dengan menggunakan konduktor pengaman, jalur untuk arus gangguan ke tanah telah tersedia.

2.9 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah (ρ). Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu:

1. Pengaruh Keadaan Stuktur Tanah

Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, dapat bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berbeda, oleh karena itu tahanan jenis tanah tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang tetap. Untuk memperoleh harga sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung ditempat dengan memperbanyak titik pengukuran.



Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah⁶ Berdasarkan PUIL

No	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ohm.Meter)
1	Tanah yang mengandung air garam	5-6
2	Rawa	30
3	Tanah liat	100
4	Pasir basah	200
5	Batu kerikil basah	500
6	Pasir dan batu kerikil kering	1.000
7	Batu	3.000

2. Pengaruh Unsur Kimia

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembedaan ditanam. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali.

3. Pengaruh Iklim

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembedaan dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembedaan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Kadangkala penanaman elektroda pembedaan memungkinkan kelembaban dan temperatur

⁶ Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2000, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik PUIL 2000*, Hal. 80



bervariasi sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Proses mengalirnya arus listrik di dalam tanah sebagian besar akibat dari proses elektro, oleh karena itu air di dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik dalam tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air tanah atau kelembaban tanah, maka konduktivitas daripada tanah akan semakin besar sehingga tahanan tanah semakin kecil.

4. Pengaruh Temperature Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pembedaan juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur di bawah titik beku air (0°C), dibawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat. Gejala diatas dapat dijelaskan sebagai berikut ; pada temperatur di bawah 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 rendah sekali. Bila temperatur 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. Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan rumus(2.1) dibawah ini :

$$P_t = p_0 (1 + \alpha t) \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana:

p_t = tahanan jenis tanah pada $t^{\circ}\text{C}$.

p_0 = tahanan jenis tanah pada 0°C

α_0 = koefisien temperatur tahanan per $^{\circ}\text{C}$ pada 0°

t = temperatur yang timbul ($^{\circ}\text{C}$)

2.10 Faktor Penentu Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan suatu elektroda yang tergantung pada tiga faktor yaitu sebagai berikut⁷ :

⁷ Mahfudi Isa, M. Mulyo Nugroho, Novredo Alfian, Rizkyah An Naafi, *Laporan Praktek Jaringan Telekomunikasi : Pengukuran Tahanan Tanah*, Malang : Laporan Praktek Politeknik Negeri Malang, Hal. 5



1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.

2.11 Elektroda Pentanahan

Menurut PUIL 2000 Elektroda adalah pengantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Pada umumnya elektroda pentanahan yang sering digunakan ada 3 jenis, yaitu sebagai berikut:

1. Elektroda Batang

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 2.1 menunjukkan gambar dari elektroda batang.

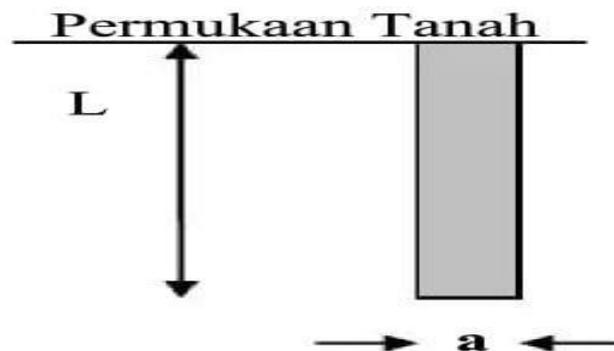


Gambar 2.1 Elektroda Batang



2. Satu Batang Elektroda

Pada gambar 2.2 menunjukkan satu batang elektroda berbentuk silinder dengan panjang L yang di tanam tegak lurus permukaan tanah, dengan bayangan di atas permukaan tanah. Elektroda tersebut ditanam dengan berbagai jenis kedalaman.



Gambar 2.2 Satu Batang Elektroda

Rumus (2.2) merupakan tahanan pentanahan elektroda batang tunggal:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{8L}{d} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- R = Tahanan pentanahan untuk elektroda batang (ohm)
- ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)
- L = Panjang elektroda (m)
- d = Diameter elektroda (meter)

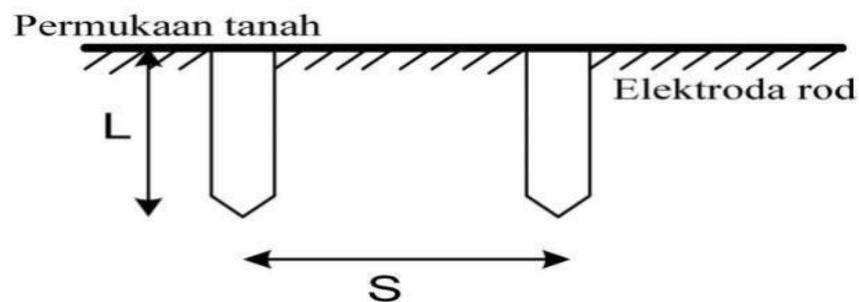
Menurut persamaan di atas, tahanan pentanahan akan berkurang dengan menambahkan panjang batang pentanahan, tetapi hubungan inti tidak langsung dan akan mencapai satu titik di mana penambahan panjang batang pentanahan hanya akan mengurangi nilai tahanan pentanahan sedikit, dalam hal ini batang pentanahan digunakan batang pentanahan paralel.⁸

⁸ Markoni, 2017, Teori Dasar Teknik Tenaga Listrik Edisi 2, Yogyakarta : Graha Ilmu



3. Dua Batang Elektroda

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat bahwa kedua batang elektroda yang berbentuk silinder dengan panjang L yang ditanam tegak lurus permukaan tanah dan dihubungkan di atas tanah dengan jarak S diantara dua batang elektroda tersebut



Gambar 2.3 Dua Batang Elektroda

3. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dalam. Pemancangan ini akan bermasalah apabila mendapat lapisan- lapisan tanah yang berbatu, disamping sulit pemancangannya, untuk mendapatkan nilai tahanan yang rendah juga bermasalah. Ternyata sebagai pengganti pemancangan batang hantaran secara vertical ke dalam tanah, dapat dilakukan dengan menanam batang hantaran secara mendatar dan dangkal. Disamping kesederhanaannya itu, ternyata tahanan pentanahan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya, seperti dalam bentuk melingkar, radial atau kombinasi antara keduanya.

Elektroda ini berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam di dalam tanah umumnya penanamannya tidak terlalu dalam (0,5 - 1 meter). Rumus (2.3) merupakan rumus tahanan pentanahan untuk elektroda pita adalah sebagai berikut:



$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{\sqrt{d \cdot Z}} \right) + \frac{1,4L}{\sqrt{A}} - 5,6 \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

R = Tahanan pentanahan elektroda pita (ohm)

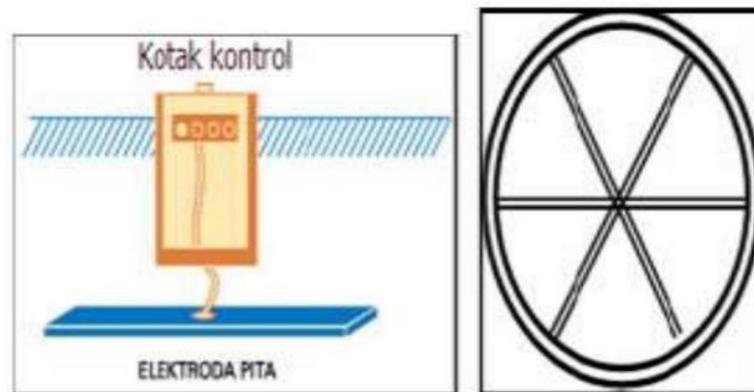
ρ = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

d = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah (m)

L = Panjang total grid kawat (m)

A = Luasan yang dicakup grid (m)

Z = Kedalaman penanaman (m)



Gambar 2.4 Elektroda Pita

5. Elektroda Plat

Elektroda plat adalah elektroda dari bahan plat logam (utuh atau berlubang) dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam dalam tanah. Elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan peralatan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain. Bentuk elektroda plat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis. Contoh dari gambar elektroda plat ditunjukkan pada Gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2.5 Elektroda Plat

Rumus (2.4) merupakan tahanan pentanahan untuk elektroda bentuk plat sebagai berikut:

$$R = \frac{\rho}{4.1L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

- R =Tahanan pentanahan elektrodapelat (ohm)
- ρ =Tahanan jenis tanah (ohm-meter)
- L =Panjang elektroda pelat (m)
- b =Lebar pelat (m)
- t =kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah (m)

2.12 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Resistansi Pentanahan

Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah :

1. Bentuk Elektroda

Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti yang disebutkan diatas yaitu batang, pita dan plat

2. Jenis Bahan dan Ukuran Elektroda

Sebagai konsekuensi peletakannya didalam 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 penanaman di dalam tanah

Penanaman 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

Adapun faktor-faktor tersebut yaitu, jenis tanah seperti tanah rawa, tanah liat, tanah liat berpasir, berbatu dan lain-lain, selanjutnya kelembaban tanah semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah; kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi terakhir 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.

2.13 Jenis Bahan dan Ukuran Elektroda

Berikut ini adalah tabel yang memuat ukuran-ukuran elektroda pentanahan yang umum digunakan dalam sistem pentanahan

**Tabel 2.2 Ukuran Minimum Elektroda Bumi Menurut PUIL 2000⁹**

No	Jenis Elektroda	Bahan Jenis Elektrode		
		Baja digalvanasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis Tembaga	Tembaga
1	Elektroda Pita	<ul style="list-style-type: none"> Pita baja 100 mm² setebal minimum 3mm Penghantar pilin 95 mm² (bukan kawat halus) 	<ul style="list-style-type: none"> 50 mm² 	<ul style="list-style-type: none"> Pita tembaga 50mm²tebal minimum 2mm Penghantar pilin 35 mm² (bukan kawathalus)
2	Elektroda Batang	<ul style="list-style-type: none"> Pipa baja 25mm Baja profil (mm) L 65x65x7U 6,5 T 6x50x3 Batang profil Lain yang setaraf 	Baja berdiameter 15 mmdilapisi tembaga setebal 2,5 mm	
3	Elektroda Plat	Pelat besi tebal 3 mmluas 0,5 m ² sampai 1m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²

2.14 Standarisai Tahanan Pentanahan

Seperti yang diketahui bahwa tahanan pentanahan suatu sistem harus bernilai yang sekecil-kecilnya. Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000 menyatakan bahwa nilai tahanan pentanahan untuk sebuah instalasi listrik ialah maksimal 5 ohm dan jika instalasi listrik tersebut dibangun diatas tanah dengan tahanan jenis tanah yang cukup tinggi maka nilai tahanan pentanahannya ialah maksimal 10 ohm.

⁹ Mukmin Mirwan, Agustinus Kali, Baso Mukhlis, September 2014, *Perbandingan Nilai Tahanan Pada Area Reklamasi Pantai (Citriland) Volume 1 No. 1*, Palu : Jurnal MEKTRIK Universitas Tadulako, Hal. 30



2.15 Error atau Selisih Pengukuran Tahanan Pentanahan

Untuk mengetahui hasil pengukuran dan hasil perhitungan tahanan pentanahan perlu dibandingkan untuk kemudian dicari selisih diantara keduanya per masing-masing skema pengukuran.

Perbandingan antara nilai perhitungan dan nilai hasil pengukuran penulis sajikan dalam bentuk persentasi (%) yang menggambarkan seberapa besar selisih antara nilai tahanan pentanahan sebenarnya (hasil perhitungan) dan nilai yang didapatkan dari variasi skema pengukuran. Untuk mendapatkan persentasi selisih atau *error* pengukuran digunakan rumus(2.5) sebagai berikut :

$$\text{Persentasi selisih (\%)} : \frac{\text{hasil pengukuran} - \text{hasil perhitungan}}{\text{nilai perhitungan}} \times 100 \% \dots\dots\dots (2.5)$$

2.16 Pengukuran Resistansi Pentanahan

Pengukuran Tahanan Pentanahan memiliki 2 cara yaitu :

1. Pengukuran Secara Langsung

Pengukuran secara langsung dibagi menjadi 2 metode yaitu :

a. Metode Uji Drop Tegangan

Cara kerja metode uji drop tegangan adalah pada saat pengukuran dilakukan konduktor yang menghubungkan batang pentanahan dengan elektroda utama harus dilepas. Karena terdapat pengaruh tahanan paralel dalam sistem yang ditanahkan, kemudian earth tester dihubungkan ke elektroda utama, 2 buah elektroda bantu ditancapkan ke tanah secara segaris, jauh dari elektroda utama. Biasanya, dengan jarak 10-15 meter.

b. Metode Selektif

Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode selektif sangat mirip dengan pengukuran tahanan pentanahan dengan metode uji drop tegangan, kedua metode menghasilkan ukuran yang sama, tapi metode selektif dapat dilakukan dengan cara yang jauh lebih aman dan lebih mudah. Hal ini dikarenakan dengan pengujian selektif, elektroda utama tidak harus dilepaskan dari sambungannya di tempat itu.



2. Pengukuran Secara Tidak Langsung

Pengukuran secara tidak langsung merupakan proses pengukuran yang dilaksanakan dengan memakai beberapa jenis alat ukur berjenis komparator/pembanding, standar dan bantu. Perbedaan harga yang ditunjukkan oleh skala alat ukur dibandingkan dengan ukuran standar (pada alat ukur standar) dapat digunakan untuk menentukan dimensi objek ukur. Metode yang biasa digunakan dalam pengukuran secara tidak langsung adalah metode fall of potensial, yaitu dengan menggunakan amperemeter dan voltmeter. karena untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yaitu dengan membandingkan nilai tegangan dibagi dengan nilai arus yang didapat.