

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai pentingnya sistem pentanahan telah dilakukan beberapa peneliti, diantaranya T.S. Hutaeruk (1987) dalam bukunya menerangkan bagaimana pentingnya sistem pentanahan yang bertujuan untuk memadamkan terjadinya busur tanah pada sistem yang besar jika tidak diketanahkan sehingga arus gangguan yang terjadi relatif besar (lebih besar dari 5A) dan untuk membatasi tegangan-tegangan fasa yang sehat agar tidak ikut terjadi gangguan.

Roy B. Carpenter (1997) melakukan penelitian mengenai cara untuk memperkecil resistansi pentanahan. Apabila pelebaran diameter batang dan pembuatan jaring pentanahan yang lebih besar di daerah yang luas sudah tidak bisa memperkecil nilai resistansi pentanahan, maka dapat dilakukan dengan cara mengubah resistansi tanah di suatu lokasi tertentu dengan mengubah sifat-sifat kimia dari tanah dengan *treatment* khusus, membuat jaring pentanahan tipis yang dihubungkan ke sistem pentanahan, menanam elektroda batang pentanahan hingga menyentuh bagian dalam tanah dengan resistansi rendah atau yang mengandung air serta melakukan pengendalian kondisi tanah agar memiliki resistansi tetap seperti yang telah direncanakan.

Aris Rakhmadi Ihsan (2002) melakukan penelitian mengenai analisis pengaruh jenis tanah terhadap tegangan permukaan tanah. Penelitian dilakukan dengan mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah melalui elektroda pentanahan, sehingga akan diketahui tegangan permukaan tanahnya. Dari penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa perbedaan jenis tanah sangat berpengaruh pada kelayakan keamanan dari sistem pentanahan yang ingin dibangun. Nilai tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung beberapa faktor, yaitu: jenis tanah (tanah liat, tanah berpasir, tanah berbatu), lapisan tanah, kelembaban tanah, dan temperatur tanah. Kenaikan nilai arus gangguan tidak menjamin tingginya tegangan permukaan untuk setiap kondisi jenis tanah, karena nilai tegangan permukaan sangat tergantung pada jenis tanah dimana elektroda batang ditanamkan.

B. Anggoro, N.I Sinisuka, P.M. Pakpahan (2006) melakukan penelitian mengenai karakteristik resistivitas dan permitivitas tanah terhadap perubahan frekuensi. Pengujian resistivitas dan permitivitas tanah ini menggunakan sumber arus bolak-balik. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa harga resistivitas dan permitivitas tanah

berubah terhadap frekuensi arus yang diinjeksikan, harga resistivitas dan permitivitas tanah cenderung menurun dengan naiknya frekuensi, fungsi penurunannya tergantung dari kandungan mineral tanahnya, penambahan air dari 2,5% s/d 15% akan efektif menurunkan harga resistivitasnya bila kandungan air telah mencapai 7,5% ke atas untuk permitivitas tidak berpengaruh banyak. Hal ini terjadi karena kandungan tanah liat sangat sedikit dan untuk sistem pentanahan yang akan digunakan pada frekuensi tinggi perubahan permitivitas tanah tidak boleh diabaikan.

Di bawah ini adalah beberapa review referensi tugas akhir terdahulu yang melakukan penelitian terhadap pentanahan suatu sistem menggunakan elektroda batang dan larutan elektrolit garam antara lain :

1. Yudistiro Yanuarianto (2008) melakukan penelitian pemanfaatan arang kayu sebagai media pentanahan elektroda jenis batang. Dalam penelitian yang mengkaji mengenai faktor yang mempengaruhi sistem pentanahan dengan memanfaatkan arang kayu, diantaranya adalah pengaruh peletakan arang kayu disekitar elektroda batang, pengaruh volume arang kayu yang ditanam konsentris elektroda batang, dan pengaruh konsentrasi air dalam arang memperoleh kesimpulan bahwa posisi peletakan arang kayu dalam tanah sangat berpengaruh terhadap besarnya nilai resistansi pentanahan.
2. Hilman Saraviyan Iskawanto (2009) melakukan penelitian terhadap pengaruh kedalaman dan konsentrasi air pada media arang kayu untuk penurunan nilai resistansi pentanahan elektroda batang. Dalam penelitian ini dilakukan treatment terhadap tanah dengan pemberian arang kayu untuk memperkecil nilai resistansi pentanahannya karena arang kayu memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah dari tanah.
3. Made Budi Ugiantara (2010) melakukan penelitian terhadap tanah dengan menggunakan semen konduktif sebagai lapisan elektroda batang. Penelitiannya bertujuan untuk mencari karakteristik pengaruh penggunaan semen konduktif pada elektroda pentanahan jenis batang terhadap perubahan nilai resistansi pentanahan dengan mengatur kedalaman elektroda batang.
4. Frisal Argha Kusumah (2011) melakukan penelitian terhadap resistansi pentanahan dengan menggunakan elektrolit garam sebagai media pengkondisian tanah dengan cara menyiramkannya beberapa meter dari elektroda batang bertujuan untuk menunjukkan bahwa penggunaan elektrolit

garam dapat memperbesar jari-jari efektif elektrik dari penanaman elektroda batang dan terhadap perubahan nilai resistansi pentanahan.

5. Muhamad (2011) melakukan penelitian pengaruh jenis dan konsentrasi larutan elektrolit garam pada *Isolated Earthing System* terhadap resistansi pentanahan dengan cara merubah jenis dan konsentrasi larutan elektrolit garam secara bergantian, penelitiannya bertujuan untuk mencari karakteristik jenis dan konsentrasi larutan elektrolit garam yang dapat memberikan penurunan resistansi terbesar.

2.2. Garam Kalsium Klorida (CaCl_2)

Kalsium klorida adalah garam campuran dari kalsium dan klorin yang memiliki sifat higroskopik yaitu mudah menyerap air. Kalsium klorida (CaCl_2) dikenal efektif dalam berbagai aplikasi di berbagai industri. Kalsium klorida dibuat dari campuran antara larutan asam klorida dengan kalsium hidroksida. (http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_chloride)

Fungsi kalsium klorida (CaCl_2) antara lain sebagai pelebur es di jalan raya pada musim dingin, untuk menurunkan titik beku pada mesin pendingin, sebagai pengental dan pengawet makanan. Kalsium klorida anhidrat adalah contoh yang mempunyai kemampuan menyerap air yang kuat sehingga digunakan sebagai pengering. Tabel 2.1 berikut ini memperlihatkan karakteristik dari garam kalsium klorida (CaCl_2).

Tabel 2.1 Karakteristik Garam Kalsium Klorida (CaCl_2)

	
Nama IUPAC	Calcium Chloride
Molecular formula	CaCl_2
Massa molar	110.98 g/mol (<i>anhydrous</i>) 128.999 g/mol (<i>monohydrate</i>) 147.014 g/mol (<i>dihydrate</i>) 183.045 g/mol (<i>tetrahydrate</i>) 219.08 g/mol (<i>hexahydrate</i>)
Penampilan	Putih solid (<i>white solid</i>)
Kepadatan	2.15 g/cm ³ (<i>anhydrous</i>) 1.835 g/cm ³ (<i>dihydrate</i>) 1.83 g/cm ³ (<i>tetrahydrate</i>) 1.71 g/cm ³ (<i>hexahydrate</i>)
Titik lebur	772 °C (<i>anhydrous</i>) 260 °C (<i>monohydrate</i>) 176 °C (<i>dihydrate</i>) 45.5 °C (<i>tetrahydrate</i>) 30 °C (<i>hexahydrate</i>)
Kelarutan dalam air	74.5 g/100mL (20 °C) 59.5 g/100 mL (0 °C)

Sumber : http://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_chloride

2.3. Konsentrasi Larutan

Konsentrasi larutan menyatakan secara kuantitatif komposisi zat terlarut dan pelarut di dalam larutan. Konsentrasi umumnya dinyatakan dalam perbandingan jumlah zat terlarut dengan jumlah total zat dalam larutan, atau dalam perbandingan jumlah zat terlarut dengan jumlah pelarut. Contoh beberapa satuan konsentrasi adalah molar, molal, dan bagian per juta (part per million, ppm). Sementara itu, secara kualitatif, komposisi larutan dapat dinyatakan sebagai encer (berkonsentrasi rendah) atau pekat (berkonsentrasi tinggi).

Satuan konsentrasi yang lain ditunjukkan pada persamaan berikut : (http://en.wikipedia.org/wiki/Kimia_Larutan)

1. Persentase (%) : jumlah gram zat terlarut dalam tiap 100 gram larutan.

$$\% = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{gram larutan}} \times 100 \% \quad (2.1)$$

2. Fraksi mol (X) : perbandingan jumlah mol suatu zat dalam larutan terhadap jumlah mol seluruh zat dalam larutan.

$$X = \text{mol suatu zat} : \text{mol seluruh zat} \quad (2.2)$$

3. Kemolaran (M) : jumlah mol zat terlarut dalam tiap liter larutan.

$$M = \text{mol} : \text{liter} = \text{mmol} : \text{ml} \quad (2.3)$$

4. Kemolalan (m) : jumlah mol zat terlarut dalam tiap 1000 gram pelarut.

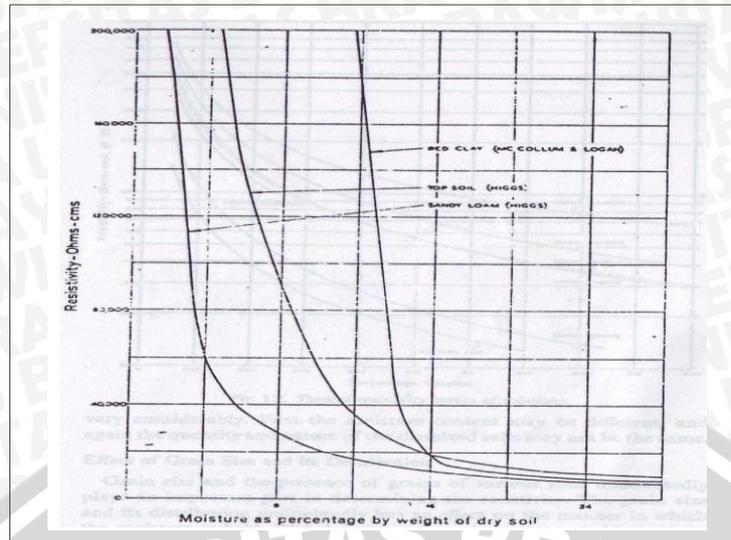
$$m = (1000 : p) \times (\text{gram} : \text{BM}) \quad (2.4)$$

2.4. Tanah Sebagai Konduktor

Dalam perkembangan sistem tenaga listrik, tanah digunakan sebagai konduktor listrik. Pada prakteknya tanah digunakan sebagai konduktor baik, meskipun tanah memiliki banyak kelemahan jika digunakan sebagai konduktor. Karena dimensi lintasan arus yang melalui tanah sangat besar, resistansi beberapa lintasan diabaikan. Bentuk elektroda yang digunakan akan sangat menentukan besarnya resistansi tanah yang dilewati arus keluar dan masuk tanah.

Sifat listrik tanah sangat penting dan menarik khususnya resistansi spesifik atau resistivitas. Resistivitas merupakan suatu faktor yang menentukan resistansi elektroda pentanahan. Sebagian besar tanah dan batu ketika sangat kering bukan merupakan konduktor listrik. Namun jika tanah dan batu mengandung mineral tertentu, maka menjadi bersifat konduktor listrik karena kandungan metaliknya. Pasir dan batu memiliki resistivitas yang tinggi, sehingga bukan merupakan suatu konduktor yang baik. Ketika mengandung air, resistivitasnya akan sangat turun sehingga tanah bersifat konduktor, meskipun merupakan konduktor yang buruk bila dibandingkan dengan bahan metal. Sebagai contoh, resistivitas baja sepuhan tembaga adalah 1,6 mikrohm-cm, sedangkan tanah pada umumnya mempunyai resistivitas sekitar 10000 ohm-cm. (G.F. Tagg, 1964:4)

Gambar 2.1 menunjukkan hubungan resistivitas tanah dengan kadar air yang dikandungnya untuk beberapa jenis tanah. Pada persentase air yang besar, kelembaban tinggi, maka resistivitasnya kecil. Dari gambar dapat dilihat bahwa resistivitas akan turun dengan cepat ketika terjadi penambahan kelembaban/kadar air. Dan untuk mengkondisikan tanah menjadi lebih konduktif perlu dilakukan *treatment* khusus terhadap tanah, *treatment* khusus tersebut bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat kimia dasar dari tanah (Roy, 1997:3). Resistivitas tanah ditentukan oleh kadar air dalam tanah serta perlakuan terhadap tanah ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Grafik Fungsi Resistivitas Terhadap Kadar Air Dalam Tanah

Sumber: G.F. Tagg, 1964:5

2.5. Resistansi dan Resistivitas Tanah

Resistansi dalam sistem pentanahan merupakan komposisi dari: (IEEE std, 142-1991:253)

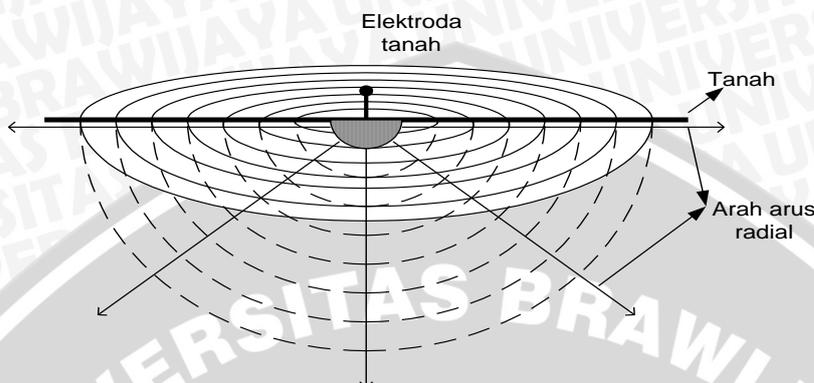
- Resistansi elektroda batang
- Resistansi kontak antara permukaan elektroda batang dan tanah disekitarnya
- Resistansi bagian tanah di sekitar elektroda batang pentanahan

Umumnya resistansi elektroda batang dan resistansi kontak nilainya kecil dan dapat diabaikan dengan resistansi bagian tanah disekitar elektroda pentanahan. Hal tersebut dapat diabaikan apabila elektroda batang pentanahan bebas dari minyak maupun cat dan kontak antara tanah dan elektroda pentanahan adalah sempurna (tidak ada rongga udara). Dengan demikian resistansi yang paling menentukan harga resistansi sistem pentanahan adalah resistivitas tanah itu sendiri.

Komponen yang mempengaruhi resistivitas tanah adalah jenis tanah, komposisi kimia yang terkandung dalam tanah, konsentrasi garam yang terlarut dalam air yang berada di tanah, kelembaban udara, temperatur tanah, ukuran partikel tanah serta penyebaran partikel tersebut di dalam tanah, kepadatan dan tekanan tanah. (G.F. Tagg, 1964:4)

Sebuah sistem pentanahan membentuk elektroda tanah yang umumnya dimodelkan sebagai sebuah setengah lingkaran (hemisphere), setengah ellips atau setengah tabung dengan alas berupa setengah bola. Elektroda pentanahan digambarkan

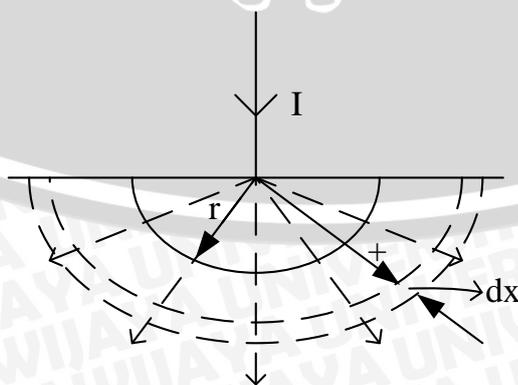
sebagai konduktor yang terdiri dari lapisan berupa sel-sel tanah yang tebalnya sama seperti yang dilihatkan pada Gambar 2.2 dimana penanaman satu elektroda batang pentanahan tegak lurus dengan permukaan tanah.



Gambar 2.2 Sel-Sel Tanah Sebagai Elektroda Pentanahan

Sumber: Mil-HDBK-419A, 1987:2-20

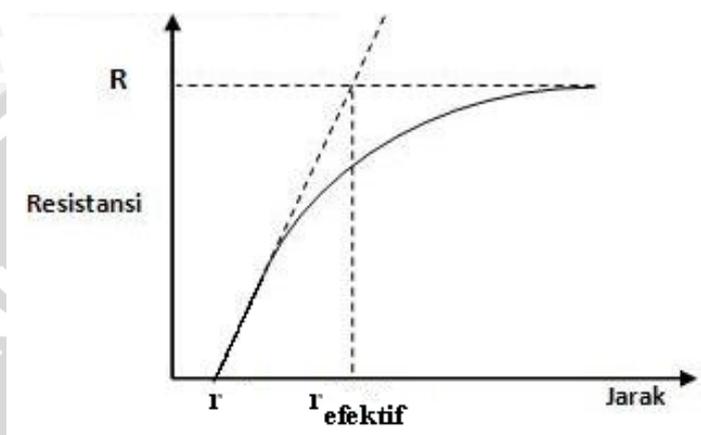
Arus yang mengalir dari pentanahan tersebut akan melintasi sel-sel ini ke semua arah. Sel tanah yang terdekat dengan batang pentanahan mempunyai permukaan paling kecil sehingga memberikan resistansi paling besar. Bila jarak dari elektroda bertambah, maka luasan ini juga akan membesar. Pada beberapa titik yang menentukan jarak tertentu dari sel tanah tersebut, penambahan sel secara signifikan tidak menambah nilai resistansi tanah sekitar elektroda batang pentanahan. Hal ini diketahui sebagai daerah resistansi efektif dan jarak ini ditentukan oleh kedalaman penanaman dan diameter elektroda batang pentanahan yang dipakai. Gambar 2.3 berikut ini memperlihatkan distribusi arus di dalam tanah.



Gambar 2.3 Distribusi Arus Di Dalam Tanah Melalui Elektroda Hemisphere

Sumber: G.F Tagg, 1964:90

Pada Gambar 2.3 mendeskripsikan arus I mengalir ke dalam sel tanah melalui elektroda pentanahan yang dimodelkan hemisphere dan mengalir ke semua arah (radial) secara seragam. Semua permukaan sel tanah yang dilewati arus I tersusun secara seri. Jika jarak dari elektroda pentanahan bertambah maka luas permukaan sel tanah (hemisphere) juga meningkat, sedangkan nilai resistansinya perlahan berkurang sampai nilai resistansinya konstan yaitu pada saat mencapai nilai resistansi efektif (r_{efektif}) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Grafik Fungsi Resistansi Terhadap Jarak

Sumber: G.F Tagg, 1964:91

Jika sel individual pada radius x , mempunyai lapisan tipis setebal dx , mempunyai resistansi dR yang dinyatakan:

$$dR = \frac{\rho dx}{2\pi x^2}$$

Integrasi dari r menuju r_1 menghasilkan

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Bila r_1 berada dijauh tak berhingga ($r_1 = \infty$), maka rumusan di atas menjadi :

$$R = \frac{\rho}{2\pi r}$$

yang menyatakan resistansi efektif sistem pentanahan. Kapasitansi elektroda bola C yang berada pada udara adalah sama dengan jari-jarinya r . sehingga nilai jari-jari r digantikan dengan nilai kapasitansi elektroda bola C . (G.F Tagg, 1964:93)

$$R = \frac{\rho}{2\pi C} \quad (2.5)$$

dengan :

R : Tahanan satu batang elektroda (ohm)

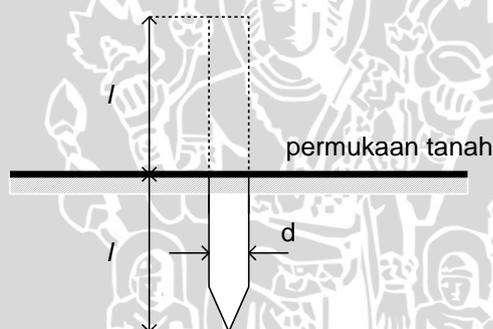
ρ : Resistivitas tanah (ohm.cm)

C : Kapasitansi elektroda (farad)

Pendekatan yang paling bagus diperoleh dengan menganggap elektroda sebagai setengah putaran ellipsoida dimana axis mayor lebih besar dibandingkan axis minor, Maka dapat dinyatakan muatan sebuah ellipsoid adalah : (G.F Tagg, 1964:94)

$$C = \frac{a}{2 \log \frac{2a}{b}} \quad (2.6)$$

Dimana a adalah panjang axis mayor dan b adalah panjang axis minor dari ellips. Pada Gambar 2.5 berikut ini ditunjukkan bentuk elektroda batang dan bayangannya.



Gambar 2.5 Elektroda Batang dan Bayangannya

Sumber: G.F Tagg, 1964: 94

Pada Gambar 2.5 menunjukkan penanaman elektroda batang dengan bayangannya yang digunakan untuk mengetahui kapasitansi elektroda batang.

Jika Persamaan (2.6) diterapkan untuk elektroda batang , maka:

$$C = \frac{2l}{2 \log \frac{4l}{d}} = \frac{l}{\log \frac{4l}{d}} \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2.7) ke Persamaan (2.5), maka besar resistansi dari suatu elektroda batang yang ditanam tegak lurus dengan tanah dapat ditentukan dengan Persamaan (2.8) : (G.F Tagg, 1964:96)

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \log \frac{4l}{d} \quad (2.8)$$

dengan :

- R : Tahanan satu batang elektroda (ohm)
 ρ : Tahanan jenis elektroda batang (ohm.cm)
l : Panjang elektroda batang dalam tanah (cm)
d : Diameter konduktor pentanahan (cm)

2.6 Elektroda Pentanahan

Pada dasarnya ada tiga jenis elektroda yang digunakan pada sistem pentanahan:

1. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainless steel atau *galvanised steel*. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi. Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus *discharge* petir maupun pemakaian pentanahan yang lainnya. Sistem pentanahan memiliki tujuan untuk mendapatkan resistansi yang rendah sehingga memungkinkan arus gangguan dengan cepat terdistribusi ke tanah. Elektroda pentanahan yang digunakan untuk melewatkan arus gangguan ke tanah adalah elektroda pentanahan jenis batang. Elektroda batang adalah elektroda yang terbuat dari tembaga, besi baja profil atau pipa yang dipancangkan ke dalam bumi. Dalam penggunaan elektroda batang sangat dipengaruhi oleh ukuran, dimensi serta bahan pembuatan elektroda batang tersebut, karena pada dasarnya pentanahan dengan elektroda batang perlu memperhatikan panjang dan ukuran elektrodanya agar dalam melakukan instalasi pentanahan bisa diperoleh hasil dan nilai resistansi pentanahan sekecil mungkin dengan biaya seefisien mungkin. Pengaruh ukuran diameter elektroda batang terhadap nilai resistansi pentanahannya adalah kecil yaitu hanya berpengaruh sekitar 10%. (Roy, 1997:3). Dimensi standar elektroda batang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Dimensi Standar Elektroda Batang

T	Elektroda Batang				
	Diameter (inchi)	Panjang (ft)	Diameter (mm)	Panjang (m)	Ukuran Klem* (mm ²)
1	3/8	5-40	9,53	1,5-12,2	6-10
2	1/2		12,7		6-16
3	5/8		15,88		6-16
4	3/4		19,05		25-50
5	1		25,4		25-50

Sumber: IEEE Green book Std 142-1991: 184 (* Sesuai SPLN 102, 1993: 9)

Pada umumnya elektroda batang menggunakan silinder yang terbuat dari tembaga murni, batang tembaga telanjang dan berlapis (*copper-clad steel*), batang besi tahan karat (*stainless rod*), kawat tembaga yang dimasukkan ke dalam batang pipa yang digalvanisasi dan dapat berupa baja yang sudah disepuh oleh tembaga. Tabel 2.3 menunjukkan luas penampang standar elektroda batang.

Tabel 2.3 Luas Penampang Minimum Elektroda Batang Pentanahan Standar Berdasarkan Jenis Bahan

Jenis elektroda	Bahan		
	Baja berlapis seng dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
Elektroda batang	Pipa baja berdiameter 1 inchi: Baja profil: L 65x65x7 U 6 1/2 T 6 X 50x3 atau batang profil lain yang setara	Baja bulat: Berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5 mm	Pipa tembaga: Luas penampang: 50 mm ² Tebal : 2 mm Hantaran pilin: (<i>bukan kawat halus</i>) Luas penampangnya: 35 mm ²

Sumber: Pedoman Pengawasan Instalasi Listrik (Disnaker-RI), 1987: 18

Kalau tanahnya sangat korosif sebaiknya digunakan ukuran-ukuran minimum 1,5 x ukuran yang diberikan pada Tabel 2.3. Kalau elektroda yang dimaksudnya untuk mengatur gradient tegangan, luas penampang minimum yang boleh digunakan adalah sebagai berikut : (DISNAKER RI, 1987: 18)

1. Untuk baja berlapis tembaga : minimum 16 mm²
2. Untuk tembaga : minimum 10 mm²

Untuk memancangkan elektroda-elektroda ini sering digunakan *palu lantak*. Elektroda-elektroda tersebut dapat juga dimasukkan ke dalam tanah dengan getaran, dengan menggunakan *palu kango*. Kalau tanahnya kering, kadang-kadang sangat sulit untuk mencapai resistansi penyebaran yang cukup rendah. Dalam hal ini, ada kalanya sifat-sifat tanah itu dapat diperbaiki dengan mengolahnya dengan bahan-bahan kimia.

2. Elektroda Pelat

Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertikal, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.

3. Elektroda Pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang ditanam di dalam tanah secara horizontal sedalam ± 2 kaki. Elektroda pita dapat dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daerah-daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

Elektroda-elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun *multiple* dan juga secara gabungan dari ketiga jenis dalam suatu sistem.

2.7 Syarat-Syarat Sistem Pentanahan yang Efektif

1. Elektroda yang ditanam

Elektroda (konduktor) yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain : (Tadjuddin, 2008)

- a. Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya.
- b. Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik.
- c. Tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, jika konduktor tersebut terkena magnitude arus gangguan dalam waktu lama.
- d. Tahan terhadap korosi.

2. Jangan sebagai sumber arus galvanis.
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah sekelilingnya.
4. Tahanan pentanahan harus baik untuk berbagai musim dalam setahun.
5. Biaya pemasangan (instalasi) seefisien mungkin.

2.8. Faktor-Faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan suatu elektroda tergantung pada : (G.F Tagg, 1964:90)

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

Namun demikian pada prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan ke peralatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misal pada saat terjadi lightning discharge. Untuk menghindarinya, sambungan ini di usahakan dibuat sependek mungkin. Dari ketiga faktor tersebut diatas yang dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektroda atau dengan kata lain tahanan jenis tanah (ρ).

2.9. Tahanan Jenis Tanah

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari satu elektroda yang *hemispherical* ($R = \rho/2\pi r$) terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya ρ . Faktor yang mempengaruhi besar nilai ρ , antara lain : (G.F Tagg, 1964:4)

1. Sifat geologi tanah
2. Komposisi zat kimia dalam tanah
3. Kandungan air tanah
4. Temperatur tanah
5. Selain itu faktor perubahan musim juga mempengaruhinya.

2.10. Sifat Geologi Tanah

Jenis tanah sangat menentukan resistivitas tanah tersebut. Terkait dengan pentanahan tanah dibagi dalam beberapa jenis. Tanah liat dapat terdiri dari beberapa jenis. Karena alasan ini sungguh mustahil untuk menyatakan bahwa tanah liat, atau tanah lain sebetulnya mempunyai suatu resistivitas yang sangat tinggi. Lagipula jenis tanah yang sama terdapat dalam berbagai tempat berbeda dari tempat lain.

Nilai resistivitas dalam Tabel 2.4 adalah suatu perkiraan untuk resistivitas yang diharapkan. Sejumlah peneliti dari waktu ke waktu mengukur resistivitas berbagai jenis tanah baik melalui pengambilan contoh dan mengukurnya dalam piranti khusus maupun dengan pengukuran yang tak terpengaruh massa tanah. Keduanya bukan pengukuran gampang tetapi lebih memungkinkan untuk memberi hasil akurat. Sangat sulit untuk memastikan bahwa contoh yang diambil dari tanah dalam kondisi yang sama ketika diukur sebagaimana ia ditempatkan.

Jenis tanah merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat umumnya mempunyai tahanan jenis terendah, sedang batu-batuan dan quartz bersifat sebagai insulator. Tabel 2.4 di bawah ini menunjukkan harga-harga (ρ) dari berbagai jenis tanah.

Tabel 2.4 Nilai Resistivitas Beberapa Jenis Tanah

Jenis Tanah	Resistivitas dalam (ohm-cm)
Tanah liat, tanah kebun, dll	500 – 5.000
Tanah liat	800 – 5.000
Campuran tanah liat, pasir dan kerikil	4.000 – 25.000
Pasir dan kerikil	6.000 – 10.000
Batu tulis, pasir berbatu, dll	1.000 – 50.000
Batu karang	20.000 – 1.000.000

Sumber: G.F. Tagg, 1964: 4

2.11. Pengaruh Ketidak Seragaman Lapisan Tanah Terhadap Nilai Resistansi Pentanahan

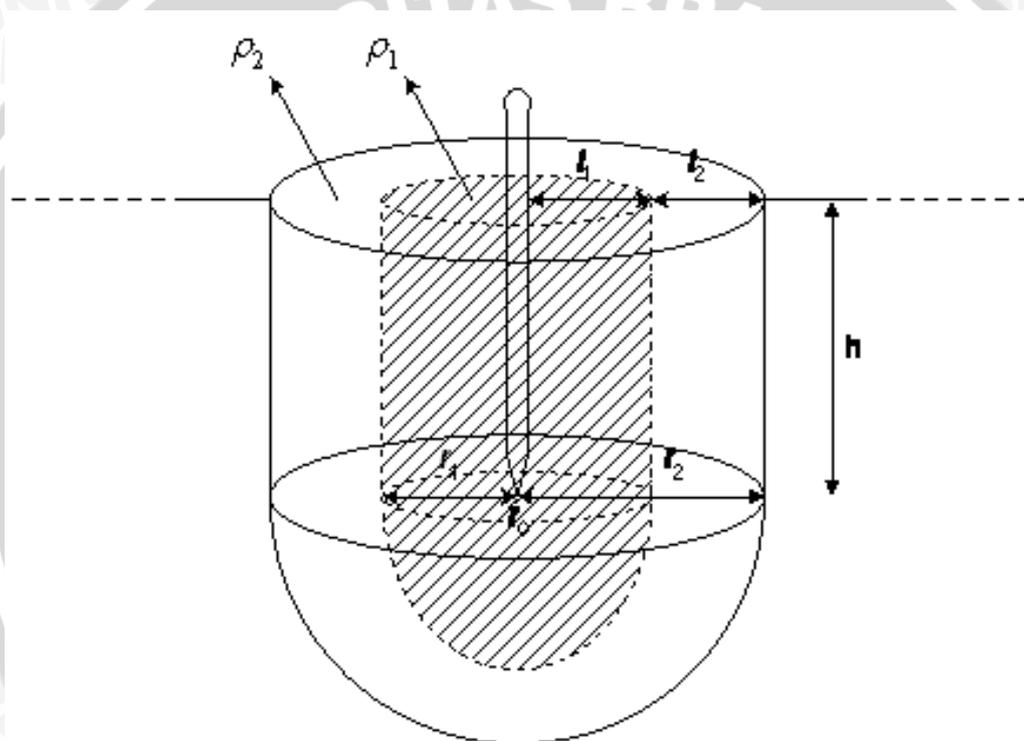
Kandungan mineral tanah akan sangat menentukan sifat-sifat kelistrikan dari tanah tersebut. Sifat kelistrikan itu menyangkut nilai resistivitas. Faktor luar tanah yang ikut menentukan harga resistivitas (ρ) adalah campuran bahan lain seperti air, garam, larutan kimia, arang dan lain-lain. Adanya perbedaan unsur kimia penyusun lapisan tanah mengakibatkan ketidak seragaman lapisan tanah (Roy, 1997). Akibat dari ketidak seragaman lapisan tanah terhadap nilai resistansi tanah adalah perbedaan nilai resistansi tanah dari setiap lapisan tanah. Sehingga tidak mengherankan, apabila terkadang nilai resistivitas tanah bagian dalam yang seharusnya semakin kecil karena semakin banyak mengandung air, menjadi sama bahkan menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan

nilai resistivitas tanah bagian atas. Resistivitas secara umum dirumuskan pada persamaan (2.9). (G.F. Tagg, 1964:16)

$$\rho = \frac{A \cdot R}{l} \quad (2.9)$$

$$\rho = \frac{\pi r^2 \cdot R}{l}$$

Perbedaan nilai resistansi tanah pada setiap lapisan tanah dapat mempengaruhi nilai resistansi pentanahan. Analisis kuantitatif untuk pengaruh heterogenitas tanah ditunjukkan pada persamaan (2.10) sampai (2.12) dengan mengacu pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Heterogenitas Lapisan Tanah

Sumber: Carpenter, 1997:7

Distribusi arus ke tanah adalah tegak lurus terhadap tanah, sehingga nilai resistansi tanah untuk setiap lapisan tanah yang heterogen dapat dirumuskan dengan persamaan (2.10).

$$R_1 = \frac{\rho_1 l_1}{A_1} = \frac{\rho_1 l_1}{(2\pi r_1 h + 2\pi r_1^2)} \quad (2.10)$$

$$R_2 = \frac{\rho_2 l_2}{A_2} = \frac{\rho_2 l_2}{(2\pi r_2 h + 2\pi r_2^2)}$$

Luasan yang dipakai pada perhitungan merupakan luasan rata-rata, sehingga jari-jari yang digunakan adalah jari-jari rata-rata (r_r). Untuk setiap lapisan tanah jenis – n dapat dirumuskan dengan persamaan (2.11).

$$r_{rn} = \frac{r_{n-1} + r_n}{2} \quad (2.11)$$

$$r_{rn} = \frac{1}{2}(r_{n-1} + r_n)$$

Heterogenitas untuk setiap lapisan tanah jenis –n sesuai dengan Gambar 2.6 dapat dirumuskan dengan persamaan (2.11).

$$R_n = \frac{\rho_n l_n}{A_n} = \frac{\rho_n l_n}{(2\pi r_{rn} h + 2\pi r_{rn}^2)} \quad (2.12)$$

Sehingga nilai resistansi pentanahan dengan mengabaikan nilai resistansi elektroda batang dan resistansi kontak antara elektroda batang dengan tanah dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (2.13)$$

dengan :

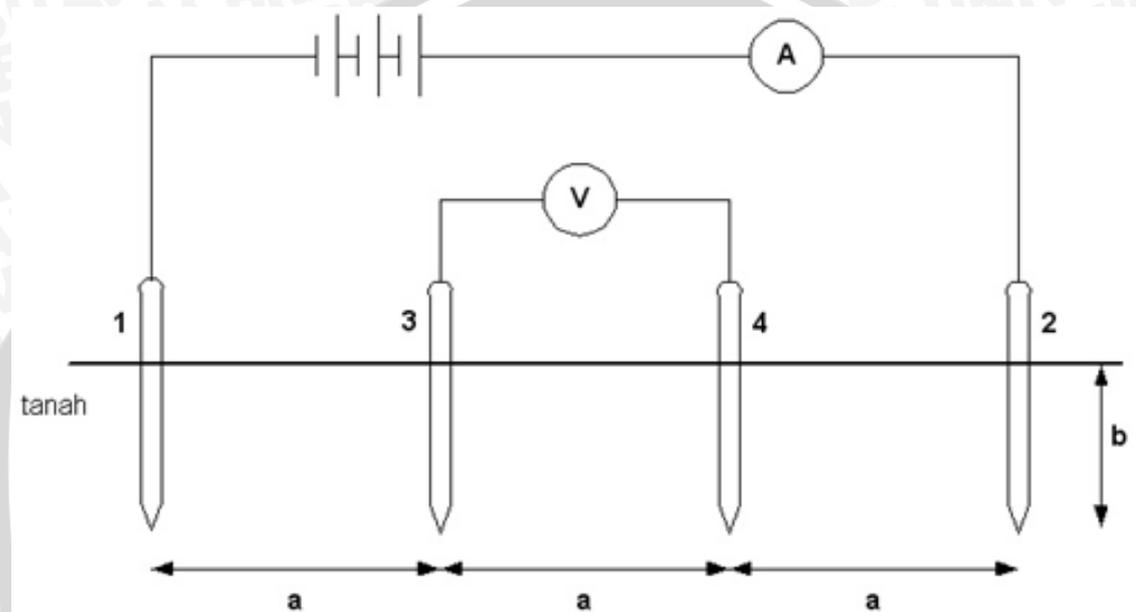
- R_e : Resistansi pentanahan (ohm)
- R : Resistansi tanah (ohm)
- ρ : Resistivitas tanah (ohm.cm)
- l : Tebal lapisan tanah (cm)
- r_r : Jari-jari rata-rata lapisan tanah (cm)
- A : Luas rata-rata permukaan lapisan tanah (cm²)
- h : Kedalaman penanaman elektroda batang (cm)
- n : Lapisan tanah ke- 1,2,3.....dst.

2.12. Metode Penentuan Nilai Resistivitas dan Resistansi Pentanahan

Dalam melakukan penentuan nilai resistivitas dan resistansi tanah didapatkan dengan cara pengukuran dan perhitungan. Penentuan nilai resistivitas dan resistansi tanah menggunakan 2 metode yang berbeda.

2.12.1. Penentuan Resistivitas Tanah

Resistivitas tanah dapat diketahui dengan menggunakan metode empat titik, yaitu menyusun empat buah elektroda batang pada satu garis dengan jarak yang sama antara elektroda batang yang satu dengan elektroda batang yang lainnya. Dengan syarat bahwa diameter dari elektroda batang yang dimasukkan ke tanah tidak boleh lebih dari 10 persen dari jarak antara elektroda, dan semua elektroda batang yang dimasukkan ke tanah harus memiliki kedalaman yang sama, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penentuan Nilai Resistivitas Tanah Menggunakan Metode Empat Titik

Sumber: T.S Hutaauruk, 1987:142

Arus I dapat mengalir dan dapat terbaca pada Ampermeter karena adanya lebih dari satu buah elektroda batang yang dimasukkan ke tanah sehingga membentuk *loop* tertutup, arus masuk ke tanah melalui salah satu elektroda batang dan kembali melalui elektroda batang yang lain. Penentuan resistivitas tanah dengan menggunakan metode empat titik tidak dipengaruhi oleh diameter dari elektroda batang dan komponen penghantarnya, tetapi sangat dipengaruhi oleh jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah. Mengacu pada gambar 2.7 maka dapat dihitung nilai efektif dari resistivitas tanah, yang ditunjukkan pada Persamaan (2.14) : (G.F Tagg, 1964:14)

$$\rho = \frac{4\pi aU}{\left(1 + \frac{2a}{\sqrt{(a^2 + 4b^2)}} - \frac{2a}{\sqrt{(4a^2 + 4b^2)}}\right) I} = \frac{4\pi aU}{nI} \quad (2.14)$$

dengan :

- a : Jarak antara elektroda batang yang dimasukkan ke tanah (cm)
- b : Kedalaman penanaman elektroda batang (cm)
- ρ : Resistivitas tanah (ohm-cm)
- U : Tegangan yang terukur pada Voltmeter (volt)
- I : Arus yang terukur pada Amperemeter (ampere)
- n : Memiliki nilai antara 1 sampai 2 tergantung oleh perbandingan b/a
apabila b=a, maka n= 1,187; b=2a, maka n= 1,038.

Dengan kasus yang sama apabila nilai a jauh lebih besar jika dibandingkan dengan b, maka nilai resistivitas tanah menjadi:

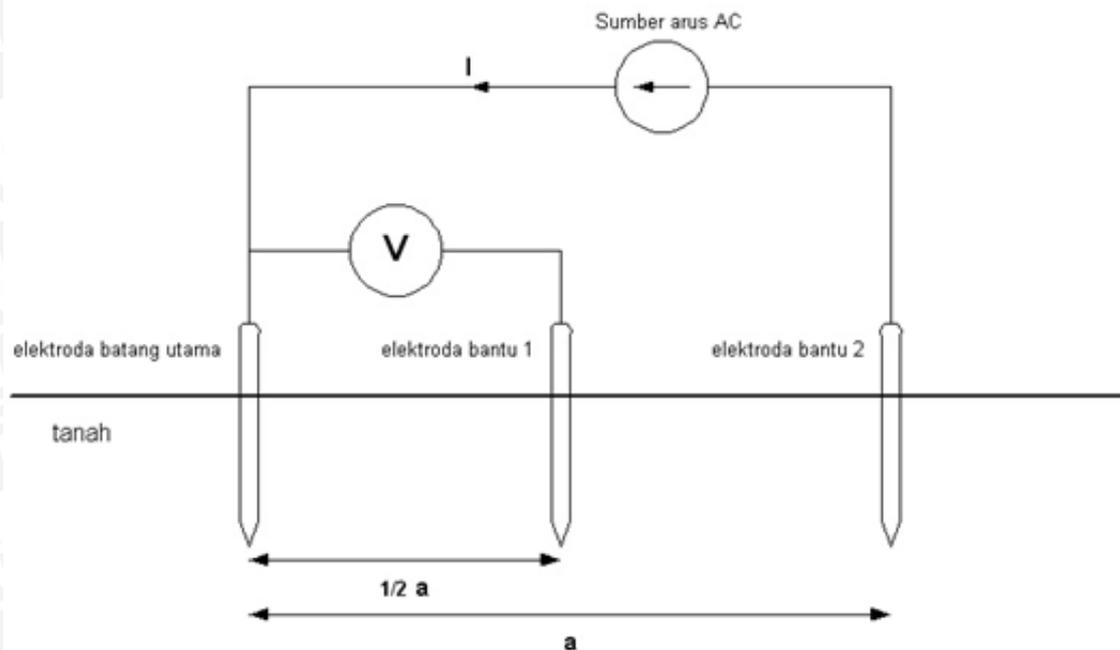
$$\rho = \frac{2\pi aU}{I} \quad (2.15)$$

apabila nilai b jauh lebih besar jika dibandingkan dengan a, maka nilai resistivitas tanah menjadi:

$$\rho = \frac{4\pi aU}{I} \quad (2.16)$$

2.12.2. Penentuan Resistansi Pentanahan

Untuk mengetahui besar nilai resistansi pentanahan dapat menggunakan metode tiga titik, yaitu dengan memasang tiga buah elektroda batang yang terdiri satu buah elektroda batang utama dan dua buah elektroda batang bantu dengan jarak tertentu. Dengan memberikan sumber arus yang dipasang antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 2, serta memasang Voltmeter yang dipasang antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 1, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Penentuan Nilai Resistansi Pentanahan Menggunakan Metode Tiga Titik

Sumber: T.S Hutauruk, 1987:144

Pada gambar 2.8, a adalah jarak antara elektroda batang utama dengan elektroda batang bantu 2, dan elektroda batang bantu 1 dimasukkan ke tanah dengan jarak minimal $\frac{1}{2} a$ dari elektroda batang utama.

Setelah menetapkan besar arus yang dialirkan ke tanah dan didapatkan hasil pengukuran pada Voltmeter, lalu untuk mendapatkan nilai resistansi tanahnya dapat dihitung dengan memakai Persamaan (2.17).

$$U = R \cdot I$$

$$R = \frac{U}{I} \quad (2.17)$$

dengan :

- U : Tegangan yang terukur oleh Voltmeter (volt)
- I : Besar arus yang diinjeksikan oleh sumber arus (ampere)
- R : Resistansi tanah (ohm)