

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum¹

Salah satu faktor kunci dalam setiap pengamanan atau perlindungan rangkaian listrik, baik keamanan bagi peralatan maupun keamanan bagi manusia, adalah dengan cara menghubungkan bagian dari peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan adalah penghubung suatu titik rangkaian listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari rangkaian listrik dengan bumi menurut cara tertentu.

Pentanahan pada peralatan listrik dalam hal ini transformator daya bisa dilakukan dengan berbagai cara seperti dengan menanamkan batang konduktor tegak lurus (vertikal) terhadap permukaan tanah atau dengan cara menanamkan batang konduktor sejajar (horizontal) terhadap permukaan tanah, penanaman ini ditanam dengan kedalaman beberapa puluh centimeter di bawah permukaan tanah. Hal ini dilakukan agar didapatkan suatu sistem yang bisa mengamankan peralatan manusia yang ada disekitar peralatan yang diketanahkan. Kadang-kadang sering juga ditemui kesulitan dalam penanaman batang-batang dari elektroda pentanahan ini seperti pada lokasi yang berbatu, walaupun demikian pentanahan ini sangatlah penting yang diprioritaskan dalam usaha pengamanan atau perlindungan terhadap peralatan dan manusia.

Selain keadaan di atas kadang-kadang juga timbul keadaan yang akan menyulitkan dalam memperoleh harga atau nilai tahanan pentanahan yang diinginkan. Apabila timbul keadaan demikian dapat digunakan beberapa metode untuk mendapatkan harga atau nilai tahanan pentanahan yang cocok seperti penanaman elektroda pentanahan secara paralel, perlakuan terhadap kondisi

¹¹Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..**Sistem Distribusi Daya Listrik**. 1991: Jakarta.hlm 154

kimiawi tanah, penanaman pasak tanam dalam dengan beberapa pasak. Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan-persyaratan sebagai berikut:

1. Membuat jalur impedansi yang rendah ke tanah untuk pengamanan personil dan peralatan, menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Menggunakan elektroda pentanahan yang tahan korosi terhadap berbagai macam kondisi kimiawi tanah, untuk meyakinkan kontinuitas penampilannya sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
3. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surgecurrent*).
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

2.2 Fungsi Dan Tujuan Pentanahan

Sistem pentanahan itu sendiri memiliki fungsi dan tujuan yang dapat dijelaskan sebagai berikut;

2.2.1 Fungsi Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah melalui suatu elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah bila terjadi gangguan. Di samping itu, berfungsi sebagai pengaman baik bagi manusia maupun peralatan dari bahaya listrik. Arus gangguan yang mengalir pada elektroda pentanahan akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik dengan titik yang lain dipermukaan tanah. Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil/manusia yang sedang bekerja maupun peralatan yang sedang digunakan. Untuk mengurangi pengaruh tersebut, maka haruslah dapat direncanakan suatu sistem pentanahan dengan harga tahanan pentanahan yang sekecil mungkin.

2.2.2 Tujuan Pentanahan

Tujuan pertama dari pentanahan, yaitu untuk mengatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus antara bagian-bagian ini dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman (tidak membahayakan) untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal. Untuk mencapai tujuan ini, suatu sistem pentanahan yang baik sangat dibutuhkan. Gunanya adalah untuk memperoleh potensial yang merata (*Uniform*) dalam semua bagian peralatan dan juga menjaga agar manusia yang berada di daerah tersebut mempunyai potensial yang berada di daerah tersebut mempunyai potensial yang sama dan tidak berbahaya pada setiap waktu.

Dengan tercapainya potensial yang hampir merata pada semua titik dalam sistem pentanahan ini, kemungkinan timbulnya perbedaan potensial yang besar pada jarak yang dapat dicapai oleh manusia saat terjadi hubung singkat ke tanah menjadi sangat kecil.

Sedangkan tujuan kedua dari pentanahan ini adalah untuk memperoleh impedansi yang kecil (rendah). Kecelakaan pada personil/manusia dapat timbul pada saat terjadi hubung singkat ke tanah. Jadi, bila arus hubung singkat ke tanah itu dipaksakan mengalir melalui impedansi yang tinggi, ini akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya

Secara umum tujuan pentanahan ini dapat dirumuskan 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 gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan dan isinya.
3. Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

2.3 Jenis-Jenis Pentanahan

Secara garis besar sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu :

1. Pentanahan Sistem
2. Pentanahan Peralatan
3. Pentanahan Penangkal Petir

2.3.1 Pentanahan Sistem

Pentanahan sistem adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator, transformator, titik pada hantaran tengah dan hantaran netral. Suatu gangguan bumi (*Ground Fault*) pada salah satu bagian dari suatu sistem harus dapat dilokalisir dan dapat diamankan tanpa mematikan atau mengganggu keseluruhan sistem, sehingga keandalan dan kontinuitas pelayanan dapat dijamin. Dengan dipasangnya sistem pentanahan ini, maka dapat diharapkan gangguan yang terjadi dapat dibatasi pada kelompok sistem yang bersangkutan saja.

beberapa macam pentanahan sistem, antara lain:

1. Pentanahan langsung atau tanpa impedansi (*solid grounding*).
2. Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*).
3. Pentanahan reactor (*reactor grounding*).
4. Pentanahan efektif (*effective grounding*).
5. Pentanahan dengan kumpulan Petersen.

1. Pentanahan Langsung Atau Tanpa Impedansi (*Solid Grounding*)

Dalam sistem ini titik netral dihubungkan langsung pada elektroda yang mempunyai kontak baik dengan tanah. Jika terjadi suatu gangguan ke tanah akan selalu mengakibatkan terganggunya saluran, maka gangguan tersebut harus dapat dilokalisir dengan membuka pemutus daya.

Tujuan pentanahan titik netral secara langsung, yang paling utama adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang terganggu mendekati harga normal. Tujuan lain dari sistem ini adalah untuk mengurangi sebagian atau seluruh arus kapasitif ke tanah saat terjadi hubung singkat ke tanah.

2. Pentanahan Melalui Tahanan (*Resistance Grounding*)

Jika diperlukan pembatasan arus hubung singkat ke tanah, maka tipe pentanahan melalui tahanan sangat baik dipakai. Dalam metode ini tahanan dipasang diantara titik netral dan tanah. Jika tahanan pentanahan rendah, maka arus hubung singkat menjadi kecil dan kondisi sistem mendekati pentanahan langsung. Pada keadaan lain jika harga pentanahan terlalu tinggi, maka kondisi sistem mendekati sistem yang tidak diketanahkan dengan resiko terjadinya arus hubung singkat ke tanah sangat besarpula.

Pada prakteknya, tahanan pentanahan bekerja pada harga agak rendah dan mempunyai nilai ohm sedemikian rupa sehingga bila terjadi hubung singkat satu fasa ke tanah dari sistem pada sumber tenaga, maka arus yang timbul sama dengan arus beban penuh pada generator atau transformator yang terbesar dan mengalir pada hubungan tanah.

3. Pentanahan Reactor (*Reactor Grounding*)

Pentanahan reaktor digunakan bilamana transformator daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Reactor ini digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan dengan reactor di mana besar arus gangguan di atas 25% dari arus gangguan 3 fasa ($X_0 / X_1 \leq 10$).

Dilihat dari besarnya perbandingan X_0 dan X_1 , sistem pentanahan ini terletak antara pentanahan efektif dan sistem yang ditanahkan dengan kumparan Petersen.

4. Pentanahan Efektif (*Effective Grounding*)

Pentanahan efektif adalah pentanahan di mana perbandingan antara reaktansi urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan tiga. Perbandingan tahanan urutan nol dan reaktansi urutan positif lebih kecil atau sama dengan satu, untuk tiap titik pada sistem tersebut.

Persamaan umum pentanahan efektif adalah

$$\frac{X_0}{X_1} \leq 3 \text{ dan } \frac{R_0}{X_1} \leq 1 \dots\dots\dots (2.1)$$

5. Pentanahan dengan kumparan Petersen

Pentanahan dengan kumparan Petersen adalah pentanahan yang menghubungkan titik netral transformator daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat berubah-ubah.

2.3.2 Pentanahan Peralatan

Dalam keadaan normal bagian-bagian peralatan listrik yang terbuat dari bahan konduktor atau sejenis logam penghantar adalah merupakan salah satu media penghantar listrik yang baik. Jadi, apabila terjadi gangguan hubung singkat atau kegagalan isolasi terhadap bagian badan atau kerangka peralatan listrik, maka antara bagian badan peralatan tersebut dengan bumi akan terdapat perbedaan potensial atau tegangan. Perbedaan ini sangat membahayakan baik terhadap peralatan itu sendiri atau terhadap manusia khususnya tenaga kerja yang menangani peralatan tersebut. Untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu diupayakan menyamakan tegangan peralatan dengan bumi dengan jalan menghubungkan bagian-bagian kerangka peralatan dengan sistem pentanahan.

Sistem pentanahan ini berguna untuk memperoleh potensial yang sama antara peralatan dan bumi serta memperoleh impedansi yang rendah sebagai jalan mengalirnya arus hubung singkat ke tanah dengan cepat.

Pentanahan peralatan umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu:

1. Pentanahan rod
2. Pentanahan grid

1. Pentanahan Rod

Pentanahan rod adalah sistem pentanahan yang menanamkan elektroda pentanahan tegak lurus dipermukaan tanah. Fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pentanahan. Untuk memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah penanaman batang elektroda pentanahan dapat diperbanyak. Bila terjadi arus gangguan ke tanah, maka arus gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradien dipermukaan tanah. Besarnya tegangan maksimum yang timbul sebanding dengan tahanan pentanahan.

Bila dilakukan penanaman paralel elektroda yang lebih banyak, maka tahanan pentanahan akan lebih kecil dan distribusi tegangan akan rata. Penanaman batang elektroda tegak lurus dipermukaan tanah dapat berbentuk bujur sangkar atau empat persegi panjang, dengan jarak antara elektroda pentanahan sama. Sedangkan konduktor penghubung antara batang-batang elektroda pentanahan terletak di atas permukaan tanah sehingga tidak diperhitungkan tahanannya, untuk batang-batang elektroda yang ditanam tegak lurus dipermukaan tanah pada luas tertentu dan ujung atasnya bergerak tertentu dipermukaan tanah.

Bila jarak antara konduktor makin pendek dan jumlah konduktor yang ditanam makin banyak, maka akan semakin kecil konduktivitas dari masing-masing konduktor.

2. Pentanahan Grid

Pentanahan grid adalah sistem pentanahan dengan menanamkan batang-batang elektroda sejajar dipermukaan tanah. Batang-batang ini terhubung satu

sama lain, ini bertujuan untuk meratakan tegangan yang mungkin timbul. Dengan cara ini bila jumlah elektroda yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau bentuk yang mempunyai harga tahanan yang paling kecil untuk daerah tertentu. Tetapi bentuk ini mahal, karena itu perlu dicari bentuk yang sederhana dan murah tetapi tetap mempunyai harga tahanan yang memenuhi persyaratan.

Dengan banyaknya konduktor yang ditanam akan tidak sebanding dengan harga tahanannya, karena fungsi konduktor itu sendiri sebenarnya untuk menyalurkan arus kesalahan ke dalam tanah. Bila konduktor saling berdekatan, maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari konduktor-konduktor tersebut. Dengan kata lain volume tanah terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

Pada pentanahan grid, umumnya elektroda-elektroda ditanam sejajar satu dengan yang lainnya pada kedalaman beberapa puluh centimeter di dalam tanah. Untuk lebih memperkecil harga tahanan pentanahannya harus diperluas daerah pentanahannya karena cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.

2.3.3 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada bangunan- bangunan. Akibat sambaran petir ini akan mengakibatkan kerusakan langsung pada objek yang tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir ini, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi.

Bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ke bumi adalah *flash over* pada saluran hantaran penurunan serta gradien tegangan disekitar elektroda bumi.

2.4 Komponen Pentanahan

Komponen sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari dua bagian yaitu:

1. Hantaranpenghubung
2. Elektrodapentanahan

2.4.1 Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar (*Conductor*) 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 seperti BC (*Bace Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*).Bahan yang digunakan kebanyakan terbuat dari aluminium dan tembaga.Dalam hal ini pentanahan untuk peralatan sering digunakan penghantar dengan bahan 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 dilepas.Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10 mm.

Selain faktor di atas yang perlu diperhatikan juga adalah sambungan antar hantaran penghubung dan elektroda pentanahan tersebut juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa lama dan terjamin.

2.4.2 Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung 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 tahanan 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 oleh arus hubung singkat yang terbesar.
3. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalamikorosi.
4. Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.

Pada umumnya elektroda-elektroda pentanahan ditanam sejajar satu sama lainnya untuk kedalaman beberapa centimeter (cm) di dalam tanah. Untuk itu ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai antara lain:

1. Elektroda batang
2. Elektroda pita
3. Elektroda plat
4. Elektroda pentanahan jenis lain dalam hal ini adalah jaringan pipa air minum

1. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari batang besi, baja profil atau batang logam lainnya yang dipancangkan di dalam tanah. Biasanya digunakan dari bahan-bahan tembaga, bahan tahan karat (*stainless steel*) atau baja yang digalvanis(*galvanized steel*).

Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar dihindarkan dari pemakaian kopeling galvanis(*galvanic couple*) karena dapat menyebabkan korosi. Pemasangan elektroda batang dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistansi pbumian. Resistansi pbumiannya sebagian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada ukuran penampangnya. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk memperoleh resistansi pbumian yang rendah, jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjang elektrodanya.

Untuk menghitung tahanan pentanahan satu batang elektroda, rumus yang digunakan adalah

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

Keterangan:

R = resistansi pentanahan satu batang elektroda pentanahan (ohm)

a = jari-jari elektroda batang (cm)

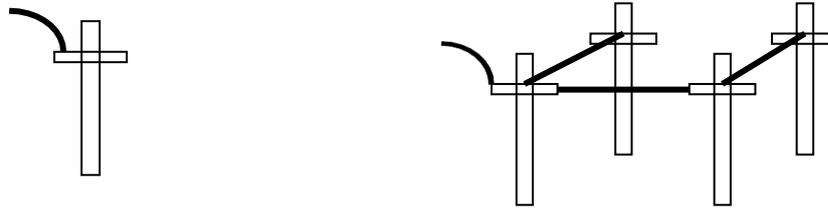
L = panjang pasang (cm)

ρ = tahanan jenis tanah (ohm cm)

Dibawah ini gambar elektroda batang :

²Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..**Sistem Distribusi Daya Listrik**. 1991: Jakarta.hlm

(a) Elektroda batang tunggal (b) Elektroda batang dalam group



Gambar 2.1 Jenis-jenis elektroda bentuk batang

Untuk menghitung tahanan pentanahan di mana elektroda pentanahannya dipasang paralel digunakan rumus sebagai berikut:

1. Dua batang elektroda pentanahan yang dipasang paralel

$$\frac{\text{tahanan 2 pasak paralel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots (2.3)^3$$

Dimana $x = \frac{\left[\frac{L}{\ln \left(\frac{48xL}{a} - 1 \right)} \right]}{d} \dots\dots\dots (2.4)$

d adalah jarak antara batang elektroda yang dipasang paralel.

2. Tiga batang elektroda pentanahan yang dipasang paralel

$$\frac{\text{tahanan 3 pasak paralel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+2x}{3} \dots\dots\dots (2.5)$$

3. Batang paralel jamak yang tersusun dalam segi empat kosong atau segi empat terisi. Apabila jumlah pasak n, maka:

$$\frac{\text{Tahanan n pasak paralel}}{\text{tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+kx}{n} \dots\dots\dots (2.6)$$

³Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..**Sistem Distribusi Daya Listrik**. 1991: Jakarta.hlm

Di mana k adalah konstanta yang tergantung dari jumlah batang yang diparalelkan dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini:

Tabel 2.1 Nilai Konstanta Suatu Elektroda Paralel

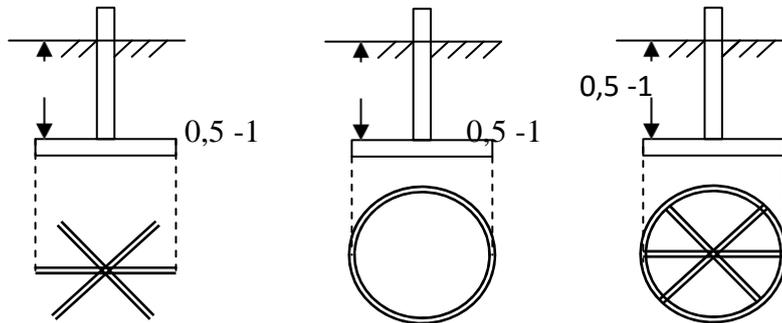
Jumlah pasak sepanjang sisi segi empat	Jumlah pasak seluruhnya	Harga k
Segi empat terisi		
2	4	2,7071
3	8	4,2583
4	12	5,3939
5	16	6,0072
6	20	6,4633
7	24	6,8363
8	28	7,1479
9	32	7,4195
10	36	7,6551
Jumlah pasak sepanjang sisi segi empat	Jumlah pasak seluruhnya	Harga k
Segi empat kosong		
3	9	5,8917
4	16	8,5545
5	25	11,4371
6	36	14,0650
7	49	16,8933
8	64	19,5003
9	81	22,3069
10	100	24,9587

2. Elektroda Pita

Elektroda pita adalah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Pada prakteknya untuk penanaman, makin dalam akan didapati kandungan air yang lebih besar sehingga akan diperoleh tahanan pentanahan yang kecil. Penanaman lebih dalam ini akan menyebabkan pula tahanan pentanahan lebih stabil dan lebih aman terhadap kerusakan yang mungkin terjadi.

Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman antara 0,5 sampai 1 meter dari permukaan tanah, tergantung dari kondisi dan jenis

tanah. Dalam pemasangannya elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar atau kombinasi dari lingkaran danradial.



(a)Radial (b) Lingkaran (c) Kombinasi lingkaran radial

Gambar 2.2 Jenis-jenis elektroda pita dan cara pemasangannya

3. Elektroda Plat

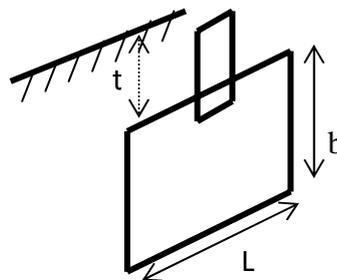
Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. Pada pemasangannya elektroda ini dapat ditanam tegak lurus atau mendatar tergantung dari tujuan penggunaannya. Bila digunakan sebagai elektroda pembumian pengaman maka cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira 1 meter di bawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Bila digunakan sebagai elektroda pengatur yaitu mengatur kecuraman gradien tegangan guna menghindari tegangan langkah yang besar dan berbahaya.

Keterangan:

L = panjang plat

t = kedalaman tertanam

b = lebar plat



Gambar 2.3 Elektroda plat dipasang vertical

4. Elektroda Pentanahan Jenis Lain

Selain ketiga elektroda pentanahan di atas yaitu elektroda batang, elektroda pita dan elektroda plat. Ada juga jenis elektroda lain yang bisa digunakan sebagai elektroda pentanahan pada peralatan listrik antaralain:

5. Jaringan pipa air minum

Apabila jaringan air minum dari logam dipakai sebagai elektroda pentanahan maka harus diperhatikan tahanan pembumiannya dapat menjadi besar akibat digunakannya pipa sambungan atau *flens* dari bahan isolasi. Jika pipa air minum dari logam, dalam rumah atau gedung dipakai sebagai elektroda pentanahan, maka ujung pipa kedua sisi meteran air harus dihubungkan dengan pipa tembaga yang berlapis timah dengan ukuran minimum 16 mm^2 dengan pita baja yang digalvanasikan dengan ukuran 25 mm^2 .

6. Selubung logam kabel

Selubung logam kabel yang tidak dibungkus dengan isolasi yang langsung ditanam tanah boleh dipakai sebagai elektroda bumi. Jika selubung logam tersebut dikedua sisi sambungan yang dihubungkan dengan penghantar yang konduktivitasnya minimalnya sama dengan selubung logam tersebut dan luas penampang penghantar itu minimal sebagai berikut:

- 4 mm^2 tembaga untuk kabel dengan penampang inti sampai 6 mm^2
- 10 mm^2 tembaga untuk kabel dengan penampang inti 10 mm^2 atau lebih.

2.5 Dimensi Elektroda Pentanahan

Dari rumus-rumus yang digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan terlihat bahwa semakin besar ukuran jari-jari elektroda, semakin dalam penanaman elektroda, maka akan semakin kecil tahanan pentanahannya.

Jadi untuk memperbaiki nilai tahanan pentanahannya, maka dilakukan cara memperdalam elektrodanya, maka kemungkinan kontak dengan air akan

semakin besar yang akhirnya akan memperkecil tahanan pentanahannya.

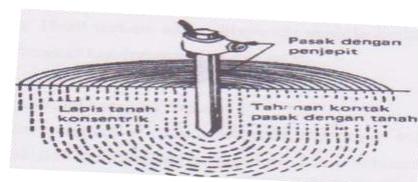
Usaha lain untuk memperkecil tahanan pentanahan adalah dengan cara memparalelkan beberapa batang elektroda, serta jarak antara masing-masing elektroda dibuat sekurang-kurangnya dua kali panjang elektroda yang digunakan, sehingga jumlah paralel elektroda akan memperkecil tahanan pentanahannya.

2.6 Sifat-Sifat Dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah⁴

Hambatan arus melewati sistem elektroda tanah yang mempunyai tiga komponen, yaitu :

- a. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitarnya.
- c. Tahanan tanah disekelilingnya.

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan sistem pentanahan. Tahanan antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari biasa diduga, apabila elektroda bersih dari cat atau minyak, dan tanah dapat dipasak dengan kuat, maka *Biro Standarisasi Nasional Amerika Serikat* menyatakan bahwa tahanan kontak dapat diabaikan. Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah akan menghantarkan arus ke semua jurusan. Ketika suatu elektroda atau pasak yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan yang sama lihat gambar 2.4.



Gambar 2.4 Komponen – Komponen Tahanan Elektroda

⁴Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..**Sistem Distribusi Daya Listrik**. 1991: Jakarta.hlm

Lapisan tanah terdekat dengan pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit, sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya, karena lebih luas, memberikan tahanan yang lebih kecil. Demikian seterusnya, sehingga pada suatu jarak tertentu dari pasak, lapisan tanah sudah tidak menambah besarnya tahanan tanah sekeliling pasak. Jarak ini disebut dengan daerah tahanan efektif, yang juga sangat tergantung pada kedalaman pasak.

2.7 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan ρ (rho) dalam satuan ohmmeter. Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu :

- a. Keadaan struktur tanah antara lain ialah struktur geologinya, seperti tanah rawa, tanah liat, tanah berpasir basah, tanah kerikil basah, tanah pasir dan kerikil kering dan tanah berbatu
- b. Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam, dan mineral-minerallainnya.
- c. Keadaan iklim, basah atau kering.
- d. Temperatur tanah dan jenis tanah Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 sampai 50.000 ohm per cm^3 .

Kadang-kadang harga ini dinyatakan dalam harga ohm-cm. Pernyataan ohm-cm mempresentasikan tahanan diantara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah berisi 1 cm^3 . Untuk mengubah komposisi kimia tanah dapat dilakukan dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga mengubah tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan

tahanan jenis tanah rata-rata, untuk keperluan perencanaan maka memerlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu, misalnya selama satu tahun. Biasanya tahanan jenis tanah juga tergantung dari tingginya permukaan air yang konstan.

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh jenis musim, pentanahan dapat dilakukan dengan menanamkan elektroda pentanahan mencapai kedalaman di mana terdapat air tanah yang konstan. Pada sistem pentanahan yang baik tidak mungkin atau tidak perlu ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Penanaman memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi, harga tahanan jenis tanah harus diambil pada keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering

Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah⁵

NO	Jenis Tanah	Tahanan Jenis (Ωm)
1	Tanah Rawa	30
2	Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
3	Tanah pasir basah	200
4	Tanah kerikil basah	500
5	Tanah pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah berbatu	3000

Dalam penggunaan data-data di atas sering terjadi kesulitan karena komposisi tanah biasanya terdiri dari dua atau kombinasi lapisan dari bermacam-macam tanah. Hal ini yang sangat penting dalam penyelidikan karakteristik tanah ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi sesuai dengan keadaan tanah pada saat pengukuran. Pengukuran tahanan jenis tanah pada gardu induk dari titik lokasi yang akan diukur. Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

⁵Sumber : Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL), 2000

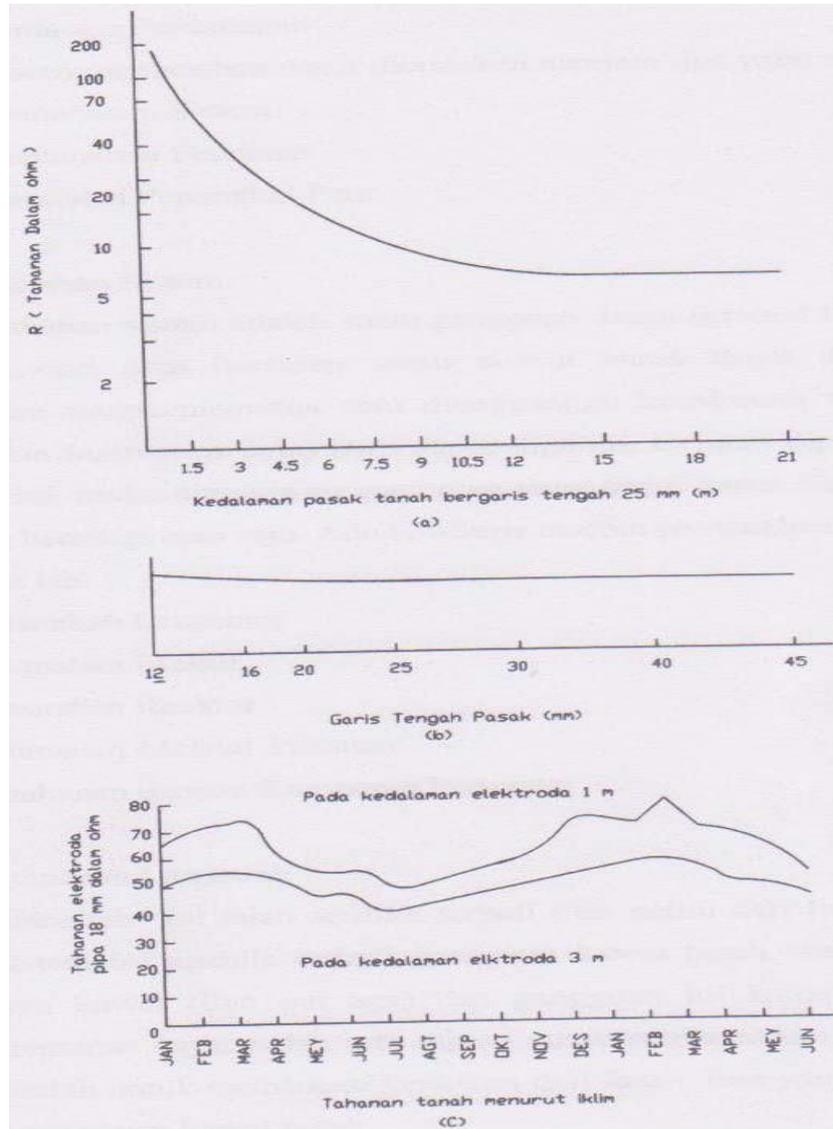
$$\rho = 2\pi a R \dots\dots\dots (2.7)^6$$

Di mana:

ρ = Tahanan Jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

a = Jarak antaraelektroda (meter)

R = Besar tahanan yang diukur (ohm)



Gambar 2.5 Variasi – Variasi Tahanan Jenis Tanah

⁶Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..Sistem Distribusi Daya Listrik. 1991: Jakarta.hlm

2.8 Ukuran Ukuran Penghantar Tanah⁷

Pengantar – penghantar dan elektroda-elektroda baja digunakan untuk saluran distribusidan pentanahan substasion. Luas minimum penghantar yang diperlukan dapat di cari dari rumus empiris berikut ini :

$$\begin{aligned}\text{Luas dalam mm}^2 &= 12,5 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \text{ untuk sambungan-sambungan yang akan di las} \\ &= 15,7 \times 10^{-3} I \sqrt{t} \text{ untuk sambungan-sambungan dengan sekrup}\end{aligned}$$

Dimana,:

I : arus gangguan dalam Ampere meter

t : lamanya terjadinya gangguan, biasanya diambil 3 dan 5

Dalam memilih penghantar, selalu stabilitas ternal sesuai penggunaan rumus di atas, kekuatan terhadap gerak mekanis ukuran minimum penghantar baja plat strip tidak boleh kurang dari $10 \times 6 \text{ mm}^2$ dan untuk ketahanan korosi, pemilihan penghantar dapat mempertimbangkan hal-hal berikut:

- a. Untuk tanah yang bersifat korosif sangat lambat, dengan tahanan diatas 100 ohm-m, tidak ada batas perkenan korosi (corrosion allowance).
- b. Untuk tanah yang bersifat korosi f lambat, dengan tahanan 25-100 ohm-m batas perkena korosi adalah 15% dengan pemilihan penghantar yang sudah mempetimbangkan factor stabilitas ternal.
- c. Untuk tanah yang bersifat korosif cepat, dengan tahanan kurang dari 25 ohm-m batas korosi adalah 30% dengan pemilihan penghantar yang sudah mempertimbangkan factor stabilitas ternal.

Dibandingkan dengan sambungan sekrup, pada sambungan las dapat timbul sedikit korosi pada sambungan oleh bahan las atau teknik pengelasannya

⁷Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..**Sistem Distribusi Daya Listrik**. 1991: Jakarta.hlm

sendiri. Hindarkan car alas titik dan gunakan las kontinu.

Penghantar dapat dipilih dari ukuran-ukuran standar seperti 10 x 6 mm², 20 x 6 mm², 30 x 6 mm², 40 x 6 mm², 50 x 6 mm², 60 x 6 mm², 50 x 8 mm² dan 65 x 8 mm². pengantar-penghantar pentanahan untuk transformator-transformator distribusi dapat dilihat pada table 2.2

Tabel 8,3
Penampang penghantar baja disarankan – mm²

S. No.	Harga kVA transformator	Orde arus gangguan (A)	Resistivitas tanah di atas 100 ohm-m		Resistivitas tanah di antara 25 dan 100 ohm-m		Resistivitas tanah kurang dari 25 ohm-m atau di mana tanah telah diolah	
			Sambungan las	Sambungan sekrup	Sambungan las	Sambungan sekrup	Sambungan las	Sambungan sekrup
			1.	50	1050	10×6	10×6	10×6
2.	100	2000	10×6	20×6	20×6	20×6	20×6	20×6
3.	200	3700	20×6	30×6	20×6	30×6	30×6	30×6
4.	250	4800	30×6	30×6	30×6	40×6	30×6	40×6
5.	400	6500	30×6	40×6	40×6	50×6	40×6	50×6
6.	500	7600	40×6	50×6	40×6	60×6	50×6	60×6
7.	750	9300	50×6	60×6	50×6	50×8	60×6	Dua buah 40 x 6
8.	1000	10,000	50×6	60×6	50×8	60×6	60×6	Dua buah 40 x 6
9.	–	15,000	50×8	Dua buah 50×6	Dua buah 40×6	Dua buah 50×6	Dua buah 50×6	Dua buah 60 x 6
10.	–	20,000	Dua buah 50×6	Dua buah 60×6	Dua buah 60×6	Dua buah 50×8	Dua buah 60×6	Dua buah 65 x 8

2.9 Perencanaan Elektroda-Elektroda Pentanahan ⁸

2.9.1. Perencanaan Elektroda

Elektroda-elektroda pentanahan untuk sistem-sistem distribusi sampai 33 kV umumnya adalah batas MS ukuran minimum dengan garis tengah 20 mm atau pipa GI bergaris tengah 25 mm sepanjang 3 m (dengan pertimbangan kekuatan terhadap mekanis dan korosi) ditanam ke tanah dengan kedalaman 0,5-0,75 m dari permukaan tanah. Pasak panjang dan ditancapkan lebih dalam sangat bermanfaat dalam mengurangi tahanan tanah.

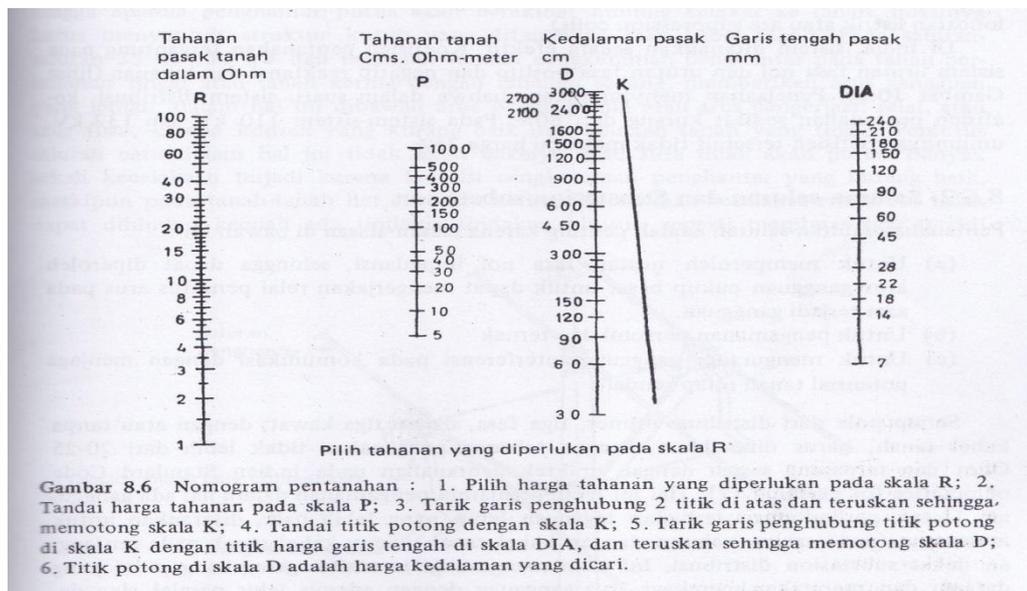
Ditempat-tempat (dengan tahanan tinggi) di mana tahanan pentanahan

⁸Pabla. A. S, Ir. Hadi. Abdul..Sistem Distribusi Daya Listrik. 1991: Jakarta.hlm

yang diperoleh dengan susunan/konstruksi di atas melampaui harga batas yang ditentukan, maka digunakan elektroda jamak. Dalam hal digunakan 2 elektroda, hubungan antar elektroda dibuat dengan plat strip MS dengan ukuran yang sama dengan penghantaran, dan jarak antara elektroda ti boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda. Apabila masih diperlukan elektroda ketiga, maka elektroda ketiga harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga tiga buah elektroda membentuk segitiga sama sisi, dengan panjang sisinya tidak boleh kurang dari 2 kali panjang elektroda.

2.9.2 Nomogram Pentanahan

Untuk membantu teknisi dalam menentukan kira-kira kedalaman yang diperlukan untuk memperoleh tahanan yang diinginkan, dapat digunakan nomogram pentanahan seperti gambar 2.6. sebagai contoh, untuk memperoleh tahanan 20 ohm didalam tanah dengan tahanan 10 ohm-m suatu batang MS dengan garis tengah 18 mm harus ditancapkan sampai kedalam 6 m. perlu dicatat bahwa harga-harga dalam Nomogram tersebut berdasarkan asumsi, bahwa tanah adalah homogen, dan arena itu mempunyai tahanan seragam.

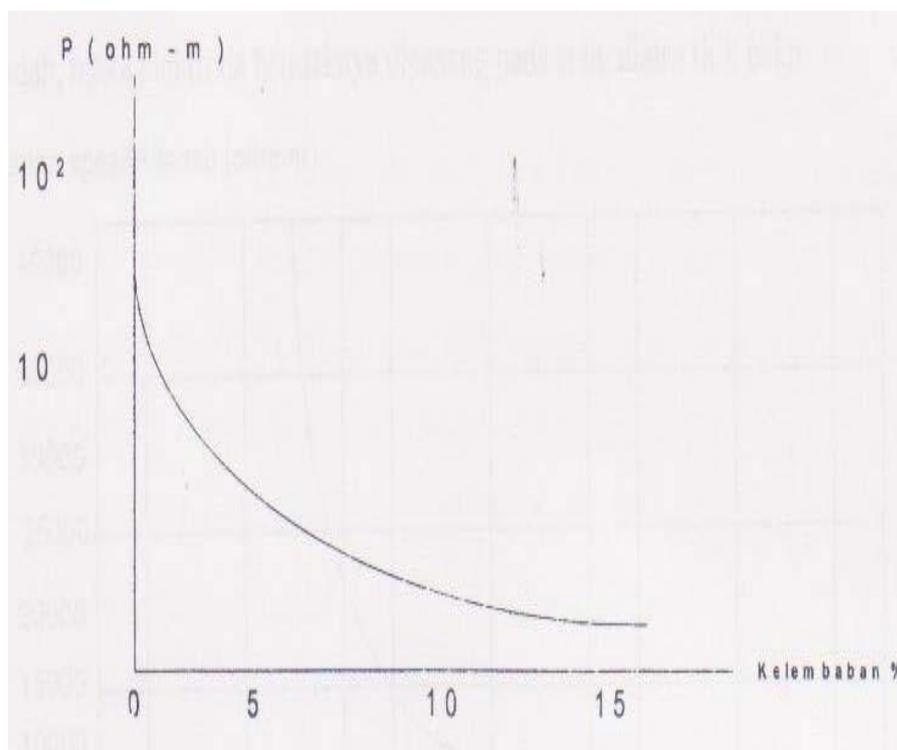


Gambar 2.6 Nomogram Petanahan

2.10 Pengaruh Unsur Kimia

Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembumian ditanam.

Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali. Cara lain untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah dapat dilakukan dengan memberikan air atau membasahi tanah. Harga tahanan jenis tanah pada kedalaman yang terbatas sangat tergantung dengan keadaan cuaca. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah rata-rata untuk keperluan perencanaan, maka diperlukan penyelidikan atau pengukuran dalam jangka waktu tertentu.

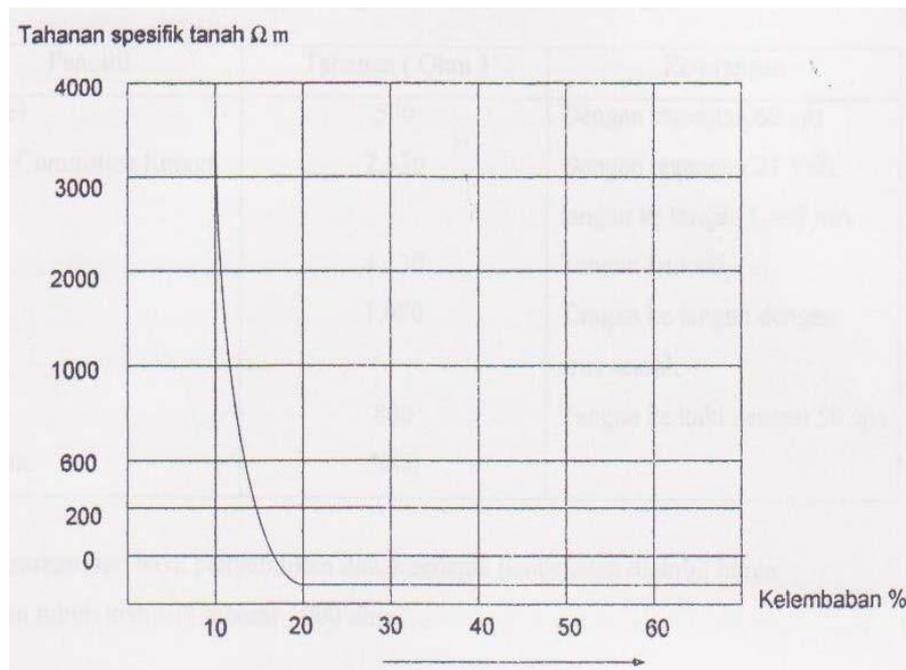


Gambar 2.7 Pengaruh Unsur Kimia Terhadap Tahanan Jenis tanah

2.11 Pengaruh Iklim

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

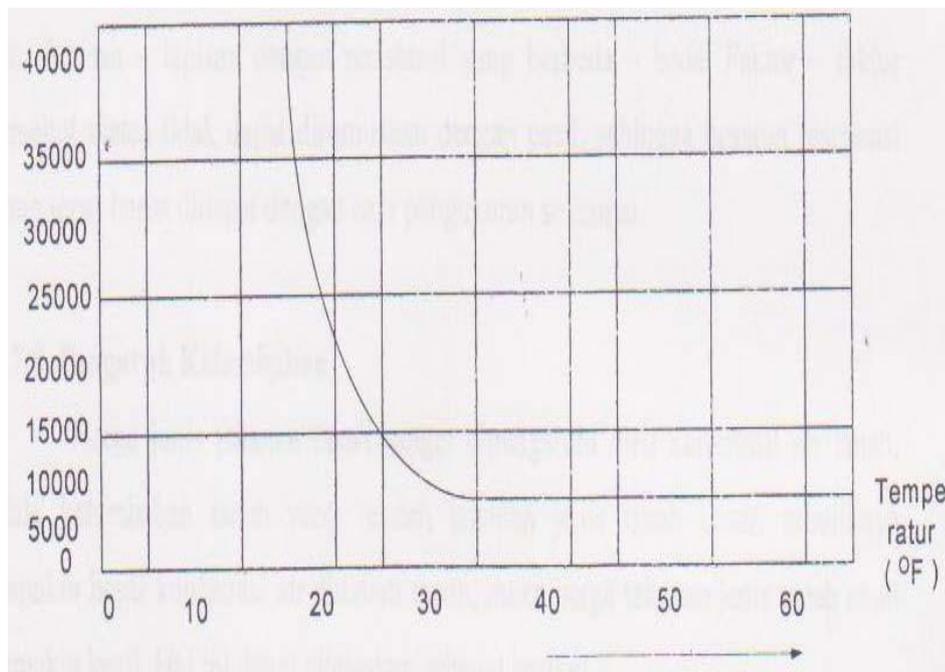


Gambar 2.8 Pengaruh Kelembaban Terhadap Tahanan Jenis Tanah

2.12 Pengaruh Temperatur 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), di bawah harga ini penurunan temperatur yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

Gejala di atas 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.



Gambar 2.9 Pengaruh Temperatur Terhadap Tahanan Jenis Tanah