



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Pada dasarnya semua transformator adalah sama yaitu suatu alat untuk memindahkan daya dari suatu rangkaian kerangkaian yang lain secara elektromagnetik dengan frekuensi yang tetap. Daya listrik yang dihasilkan pada stasiun pembangkit harus mengalami beberapa tahap pendistribusian sebelum daya itu dapat digunakan oleh beban listrik. Transformator memungkinkan kita untuk mengirimkan daya listrik jarak jauh dan mendistribusikan secara aman sampai ke tujuan.⁷

Transformator adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi untuk memindahkan/menyalurkan tenaga listrik tegangan rendah ke tegangan menengah atau sebaliknya. Transformator adalah alat yang digunakan untuk memindahkan energi listrik arus bolak-balik dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan

2.1.1 Transformator Daya

Transformator Daya adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa secara

⁷ PPPT, VEDC. 2008. *Mesin Listrik*. Departemen Pendidikan Nasional
Pusat Pengembangan dan Perberdayaan Pendidik dan Tenaga Kependidikan. Malang
Hal.1.



terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu, maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin.



Gambar 2.1 Trafo Daya

2.1.2 Transformator Distribusi

Trafo distribusi adalah merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Kerusakan pada trafo distribusi menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau pemadaman).



Gambar 2.2 Trafo Distribusi



2.1.3 Transformator Pengukuran

Transformator pengukuran adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi sebagai alat transformasi energi listrik yang digunakan sebagai alat ukur bantu untuk keperluan pengukuran tegangan dan arus listrik agar berada dalam jangkauan alat ukur, sehingga pengukuran arus dan tegangan listrik dapat terbaca oleh suatu alat ukur. ³



Gambar 2.3 Trafo Pengukuran

2.2 Konstruksi Trafo

Bagian aktif dari transformator adalah lilitan primer dan sekunder. Bagian primer biasa disebut juga masukan/input sedang sekunder keluaran/output. Untuk mentransfer medan magnet dari lilitan yang satu ke lilitan yang lain diperlukan bahan feromagnetik.

Pemilihan bahan ini tergantung dari frekuensi dan penggunaan trafo, contoh : Frekuensi jaringan (daya) : digunakan plat tipis yang berlapis-lapis dan frekuensi konstan.

Frekuensi suara : digunakan plat besi berlapis dari bahan campuran yaitu Fe dan Ni.



Frekuensi tinggi : digunakan bahan campuran Fe-Ni dan serbuk besi (ferrit).⁸

2.3 Prinsip Kerja Trafo

Dalam suatu eksperimennya Michael Faraday dengan menggunakan bahan-bahan berupa sebuah coil, magnet batang dan galvanometer dapat membuktikan bahwa bila kita mendorong medan magnet batang ke dalam coil tersebut, dengan kutub utaranya menghadap coil tersebut, ketika batang magnet sedang bergerak, jarum galvanometer memperlihatkan penyimpangan yang menunjukkan bahwa sebuah arus telah dihasilkan dalam coil tersebut. Bila batang magnet tersebut digeakkan dengan arah sebaliknya maka arah penunjuk pada galvanometer arahnya pun berlawanan yang menunjukkan bahwa arah arus yang terjadi berlawanan juga. Jadi, yang terjadi dalam percobaan itu adalah apa yang disebut arus imbas yang dihasilkan oleh tegangan gerak listrik imbas.⁶

Dasar dari teori trafo adalah apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet, dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, maka akan timbul gaya gerak listrik.¹

2.4 Bagian-Bagian Transformator

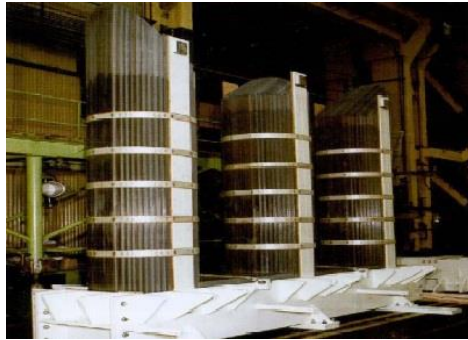
Adapun bagian-bagian dari transformator ialah :

1. Inti Besi

Inti besi tersebut berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan transformator. Bahan ini terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis.

⁸ PPPT, VEDC. 2008. *Mesin Listrik*. Departemen Pendidikan Nasional Pusat Pengembangan dan Perberdayaan Pendidik dan Tenaaga Kependidikan. Malang. Hal.1.

¹ Aslimeri,dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Untuk SMK Jilid 1. Hal.128



Gambar 2.4 inti besi dan laminasi yang diikat fiber glass ¹

2. Kumparan Primer Dan Kumparan Sekunder

Terdapat dua kumparan pada inti tersebut yaitu kumparan primer kumparan sekunder, bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan maka pada kumparan akan membangkitkan fluksi pada inti serta meninduksi kumparan lainnya, sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.



Gambar 2.5 Kumparan phasa RST ¹

3. Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator. Sebagian bahan isolasi minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan. Minyak

¹ Aslimeri,dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Untuk SMK Jilid 1. Hal 130.



transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam minyak transformator ini adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa diatas minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungan nya sangat kecil .

Minyak transformator adalah cairan yang dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah. Selain itu minyak ini juga berasal dari bahan organik, misalnya minyak piranol dan silikon, berapa jenis minyak transformator yang sering dijumpai dilapangan adalah minyak transformator jenis Diala A, diala B dan Mectrans. Kenaikan suhu pada transformator akan menyebabkan terjadinya proses hidrokarbon pada minyak, nilai tegangan tembus dan kerapatan arus konduksi merupakan beberapa indikator

atau variable yang digunakan untuk mengetahui apakah suatu minyak transformator memiliki ketahanan listrik yang memahami persyaratan yang berlaku . Secara analisa kimia ketahanan listrik suatu minyak transformator dapat menurun akibat adanya pengaruh asam dan pengaruh tercampurnya minyak dengan air.

Untuk menetralsir keasaman suatu minyak transformator dapat menggunakan potas hidroksida(KOH). Sedangkan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat dalam minyak tersebut yaitu dengan cara memberikan suatu bahan higroskopis yaitu selikagel. Dalam menyalurkan perannya sebagai pendingin, kekentalan minyak transformator ini tidak boleh terlalu tinggi agar mudah bersikulasi, dengan demikian proses pendinginan dapat berlangsung dengan baik. Kekentalan relatif minyak transformator tidak boleh lebih dari 4,2 pada suhu 200 C dan 1,8 dan 1,85 dan maksimum 2 pada suhu 50 C .Hal ini sesuai dengan sifat minyak transformator yakni semakin lama dan berat operasi suatu minyak transformator, maka minyak akan akan semakin kental . Bila kekentalan minyak tinggi maka sulit untuk bersikulasi sehingga akan menyulitkan proses pendinginan transformator. Sebagai bahan isolasi minyak transformator memiliki beberapa kekentalan.



Adapun persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator adalah sebagai berikut:

1. Kejernihan

Kejernihan minyak isolasi tidak boleh mengandung suspensi atau endapan (sedimen).

2. Massa jenis.

Massa jenis dibatasi agar air dapat terpisah dari minyak isolasi dan tidak melayang.

3. Viskositas Kinematika

Viskositas memegang peranan penting dalam pendinginan, yakni untuk menentukan kelas minyak.

4. Titik Nyala .

Titik nyala yang rendah menunjukkan adanya kontaminasi zat gas yang mudah terbakar.

5. Titik Tuang.

Titik tuang dipakai untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis peralatan yang akan menggunakan minyak isolasi .

6. Angka kenetralan .

Angka kenetralan merupakan angka yang menunjukkan penyusutan asam minyak dan dapat mendeteksi kontaminasi minyak, menunjukkan kecenderungan perubahan kimia atau indikasi perubahan kimia dalam bahan tambahan .

7. Korosi belerang

Korosi belerang kemungkinan dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi .

8. Tegangan tembus

Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.

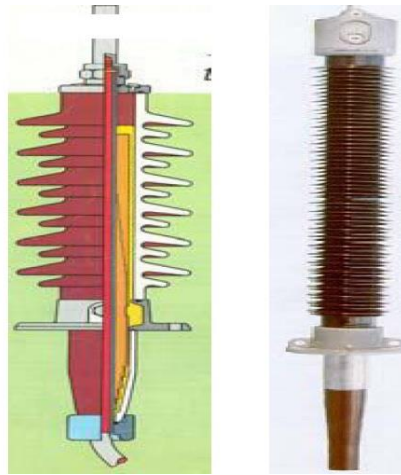
9. Kandungan air .



Adanya air dalam dalam isolasi menyebabkan menurunnya tegangan tembus dan tahanan jenis minyak isolasi akan mempercepat kerusakan kertas pengisolasi.

4. Isolator Bushing

Pada ujung kedua kumparan transformator baik primer maupun sekunder keluar menjadi terminal melalui isolator yang juga sebagai penyekat antar kumparan dengan body transformator.



Gambar 2.6 Isolator Bushing ¹

5. Tangki dan Konservator

Bagian-bagaian transformator yang terendam minyak transformator berada dalam tangki, sedangkan untuk pemuaian minyak tangki dilengkapi dengan konservator yang berfungsi untuk menampung pemuaian minyak akibat perubahan temperature.

¹ Aslimeri,dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik*. Untuk SMK Jilid 1. Hal 132-133

Gambar 2.7 Konservator ¹

6. Katup Pembuangan dan Pegisian

Katup pembuangan pada transformator berfungsi untuk menguras pada penggantian minyak transformator, hal ini terdapat pada transformator diatas 100 kVA, sedangkan katup pengisian berfungsi untuk menambah atau mengambil sampel minyak pada transformator.

7. Oil Level

Fungsi dari oil level tersebut adalah untuk mengetahui minyak pada tangki transformator, oil level inipun hanya terdapat pada transformator diatas 100kVA.

8. Indikator Suhu Trafo

Untuk mengetahui serta memantau keberadaan temperature pada oil transformator saat beroperasi, untuk transformator yang berkapasitas besar indikator limit tersebut dihubungkan dengan rele temperature.



Gambar 2.8 Indikator Suhu

9. Pernapasan Transformator (Dehydrating Breather)



Karena naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyaknya akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki. Kedua proses tersebut diatas disebut pernapasan transformator, akibatnya permukaan minyak akan bersinggungan dengan udara luar, udara luar tersebut lembab. Oleh sebab itu pada ujung pernapasan diberikan alat dengan bahan yang mampu menyerap kelembaban udara luar yang disebut Kristal Zat Hygrokopsis (*Cilicagel*).

10. Pendingin Transformator

Perubahan temperature akibat perubahan beban maka seluruh komponen transformator akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada transformator dilakukan pendingin pada transformator. Sedangkan cara pendinginan transformator terdapat dua macam yaitu : alamiah/natural (*Onan*) dan paksa/tekanan (*Onaf*). Pada pendinginan alamiah (natural) melalui sirip-sirip radiator yang bersirkulasi dengan udara luar dan untuk transformator yang besar minyak pada transformator diskirkulasikan dengan pompa. Sedangkan pada pendinginan paksa pada sirip-sirip trafo terdapat fan yang bekerjanya sesuai dengan setting tempraturnya. Pada inti besi dan kumparan – kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga. Maka panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, ini akan merusak isolasi, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan tersebut transformator perlu dilengkapi dengan alat atau sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator media yang dipakai pada sistem pendingin dapat berupa: Udara/gas, Minyak dan Air. Pada cara alamiah, pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat pendinginan dari media-media (minyak-udara/gas) dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara manual dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa pompa sirkulasi minyak, udara dan air, cara ini disebut pendingin paksa (*Forsed*).



11. Tap Changer Transformator (Perubahan Tap)

Tap changer adalah alat perubah pembanding tranformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai dengan tegangan sekunder yang diinginkan dari tegangan primer yang berubah-ubah. Tiap changer hanya dapat dioperasikan pada keadaan transformator tidak bertegangan atau disebut dengan “*Off Load Tap Changer*” serta dilakukan secara manual.

12. Peralatan Proteksi Internal

Rele Buchholz biasa disebut juga rele gas, karena bekerjanya digerakkan oleh pengemangan gas. Tekanan gas akan timbul bila minyak mengalami kenaikan temperature yang diakibatkan :

- Hubung singkat antar lilitan pada atau dalam fasa;
- Hubung singkat antar fasa;
- Hubung singkat antar fasa ke tanah;
- Busur api listrik antar laminasi;
- Busur api listrik karena kontak yang kurang baik.

Gas yang mengembang akan menggerakkan kontak-kontak rangkaian alarm atau rangkaian pemutus.

2.5 Sistem Pentanahan

Salah satu pengaman yang paling baik terhadap peralatan listrik dari gangguan arus lebih ataupun hubung singkat yaitu, dengan cara pentanahan. Cara ini juga dapat melindungi manusia dari adanya bahaya-bahaya yang dapat memakan korban. Dengan menghubungkan bagian dari peralatan tersebut dengan system pentanahan.

Pentanahan adalah penghubungan suatu titik rangkaian listrik dengan bumi dengan cara tertentu, apabila suatu tindakan pengaman atau perlindungan yang akan dilaksanakan, maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan benar. Agar sistem pentanahan dapat bekerja efektif. Sistem pembangkit itu



sendiri, antara lain harus memiliki sistem proteksi atau sistem pengaman yang handal untuk memproteksi peralatan-peralatan yang dipakai.

sistem pembumian netral pengaman (PNP) atau PEN adalah penghantar tunggal yang dapat melayani baik sebagai penghantar proteksi (PE) maupun sebagai penghantar netral (N), maka disebut dengan penghantar PEN. Pembumian penghantar PEN selain di sumbernya (generator atau transformator) sedapat mungkin juga di setiap konsumen. Beberapa konsumen kecil yang berdekatan satu dengan lainnya dapat dianggap sebagai satu kelompok dan penghantar PEN nya cukup dibumikan di satu titik. Jadi dengan kata lain sistem pentanahan PEN adalah PE dan netral disatukan untuk diketanahkan.

2.5.1 Fungsi dan Tujuan Pentanahan

Fungsi pentanahan adalah untuk mengalirkan arus listrik ke dalam tanah melalui suatu elektroda tanah yang ditanam di dalam tanah jika terjadi suatu gangguan, disamping itu berfungsi sebagai pengaman manusia dari listrik. Arus listrik mengalir pada elektroda pentanahan akan mengakibatkan perbedaan tegangan antara elektroda pada suatu titik lain dipermukaan tanah. Bila perbedaan maksimum sepanjang permukaan tanah ternyata masih begitu besar, maka kondisi ini sangat tidak menguntungkan karena akan membahayakan personil yang sedang bekerja. Perbedaan ini sangat dirasakan disekitar peralatan. Untuk mengurangi pengaruh tersebut maka haruslah ada sistem pentanahan.

Adapun tujuan pentanahan suatu sistem tenaga listrik secara umum adalah sebagai berikut :

- a. Mencegah timbulnya busur tanah akibat dari arus gangguan yang besar ($>5A$)
- b. Memberikan perlindungan terhadap bahaya listrik bagi pemanfaatan listrik dan lingkungan
- c. Memproteksi peralatan listrik
- d. Mendapatkan keandalan penyaluran pada sistem baik dari segi kualitas, keandalan ataupun kontinuitas penyaluran tenaga listrik.
- e. Membatasi kenaikan tegangan fasa yang tidak terganggu.



Sistem pentanahan yang kurang baik dapat menyebabkan penurunan kualitas tenaga listrik. Ilmu pentanahan sering kali dianggap remeh, padahal pentanahan yang baik sangatlah penting. Pada sistem tenaga listrik 70% s/d 80% yang terkena gangguan adalah sistem pada transmisi. Salah satunya adalah gangguan ke tanah selain gangguan-gangguan lain seperti, surja petir, kesalahan mekanis akibat retak-retak pada isolator, burung atau daun-daun yang terbang dekat isolator gantung, debu-debu yang menempel pada isolator, tegangan lebih, gangguan hubung singkat dan gangguan-gangguan lainnya. Jika arus gangguan lebih dari 5 A maka akan timbul busur listrik pada kontak-kontak antar kawat yang terganggu dan tanah yang tidak dapat padam sendiri. Dan jika terdapat busur tanah yang menetap, padam dan menyala, hal ini dapat membahayakan. Hal ini disebabkan karena busur tanah tersebut merupakan gelombang berjalan yang memiliki muka gelombang yang curam yang dapat membahayakan isolasi dari alat-alat instalasi meskipun jauh dari titik gangguan.

Dari jenis-jenis gangguan yang telah disebutkan dapat mengakibatkan :

- Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya ke beban.
- Penurunan tegangan yang cukup besar sehingga kualitas-kualitas listrik rendah dan merintangi kerja normal peralatan konsumen.
- Pengurangan stabilitas sistem yang menyebabkan jatuhnya generator.
- Merusak peralatan pada daerah gangguan.

2.5.2 Jenis-jenis pentanahan

1. Single Grounding

Yaitu dengan menancapkan sebuah batang logam/pasak biasanya di pasang tegak lurus masuk kedalam tanah.

2. Paralel Grounding

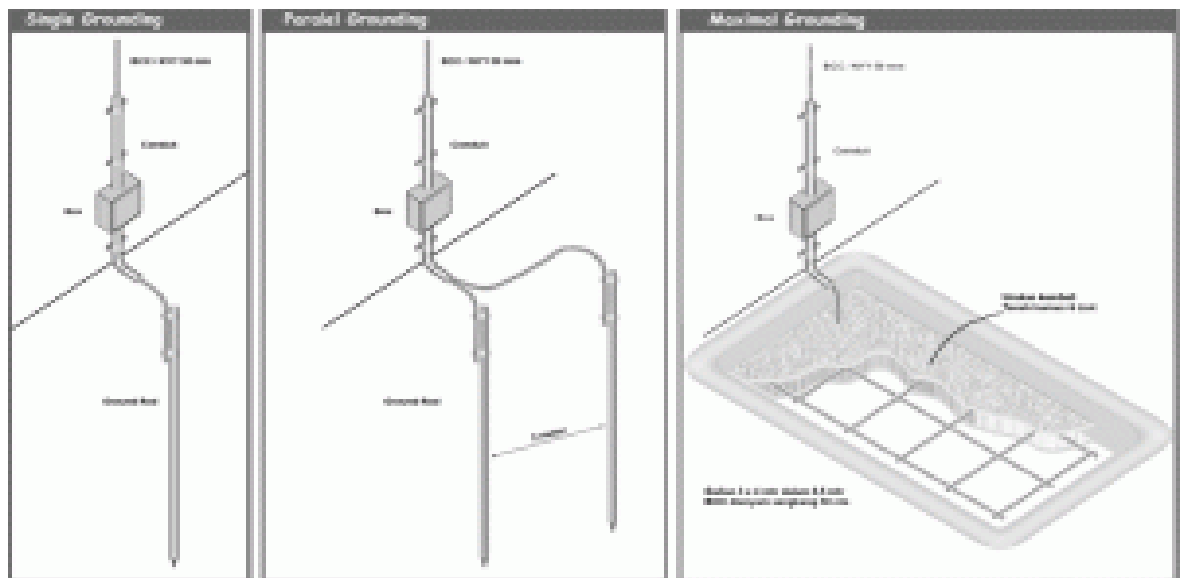
Bila sistem single grounding masih mendapatkan hasil kurang baik, maka perlu di tambahkan material logam arus pelepas ke dalam tanah yang jarak antara batang logam/material minimal 2 Meter dan dihubungkan dengan kabel BC. Penambahan batang logam/material dapat juga di tanam mendatar dengan



kedalaman tertentu, bisa mengelilingi bangunan membentuk cincin atau cakar ayam. Kedua teknik ini bisa di terapkan secara bersamaan dengan acuan tahanan sebaran/resistansi kurang dari 5 Ohm setelah pengukuran dengan *Earth Tester Ground*.

3. Maksimum Grounding

Yaitu dengan memasukan material grounding berupa lempengan tembaga yang diikat oleh kabel BC, serta dengan pergantian tanah galian di titik grounding tersebut.



Gambar 2.9 Jenis Pentanahan (dari kiri : Single, Paralel, dan Maksimum Grounding)

2.5.3 Pentanahan Sistem

Pentanahan sistem adalah pentanahan dari titik yang merupakan bagian dari jaringan listrik, misalnya titik netral generator atau transformator atau titik pada hantaran tengah atau hantaran netral. Suatu gangguan bumi (ground fault) pada salah satu bagian dari suatu sistem harus dapat dilokalisir dan diamankan tanpa harus mematikan atau mengganggu keseluruhan sistem, sehingga kehandalan dan kontinuitas pelayanan dapat dijamin. Dengan dipasangnya pentanahan sistem ini



maka diharapkan gangguan yang terjadi dapat dibatasi pada grup sistem yang bersangkutan saja.

Ada beberapa macam pentanahan sistem, antara lain :

1. Pentanahan tanpa impedansi/langsung (solid grounding)
2. Pentanahan melalui tahanan (resistance grounding)
3. Pentanahan melalui impedansi (reactor grounding)
4. Pentanahan melalui reactor yang impedansinya dapat berubah – ubah

2.5.4 Peralatan Pentanahan

Dalam keadaan normal bagian – bagian peralatan listrik yang terbuat dari bahan konduktor atau sejenis logam penghantar tidak boleh ada peralatan tegangan dengan bumi, karena bila terjadi hubung singkat atau terjadi kegagalan isolasi terhadap bagian badan atau kerangka peralatan listrik maka antara bagian badan peralatan dengan bumi terdapat perbedaan tegangan. Perbedaan tegangan ini sangat membahayakan manusia khususnya tenaga kerja yang menangani peralatan tersebut.

Untuk menangani permasalahan ini perlu diupayakan menyamakan tegangan–tegangan peralatan dengan bumi dengan jalan menghubungkan bagian–bagian kerangka peralatan dengan sistem pentanahan. Pentanahan peralatan pada umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem grid (horizontal) dan sistem rod (vertical). Sistem pentanahan grid ialah menanamkan batang –batang sejajar elektroda dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem pentanahan rod ialah menanamkan batang – batang elektroda tegak lurus ke dalam tanah, hal ini fungsinya untuk mengurangi (memperkecil) tahanan pentanahan. Ada yang membedakan sistem pentanahan ini hanya pada cara penanaman elektrodanya. Adapun penjelasan dari kedua system pentanahan peralatan diatas adalah sebagai berikut :

1. Pentanahan Grid (horizontal)

Pada sistem ini batang-batang elektroda ditanam sejajar dibawah permukaan tanah, batang-batang ini terhubung satu sama lain. Dengan cara ini jumlah



konduktor yang ditanam banyak sekali, maka bentuknya mendekati bentuk plat dan ini merupakan bentuk maksimum atau yang mempunyai harga tahanan paling kecil luas daerah tertentu, tetapi bentuk ini tidak efisien/mahal. Pada sistem ini banyaknya konduktor akan tak terbanding dengan tahanannya oleh karena fungsi dari konduktor sebenarnya adalah menyalurkan arus kedalam tanah. Bila elektroda saling berdekatan maka volume tanah tidak bisa menerima arus dari elektroda-elektroda tersebut, dengan kata lain volume tanah tidak terbatas kemampuannya untuk menerima arus.

Pada pentanahan grid umumnya elektrodaa-elektrodanya ditanam sejajar satu dengan dan lainnya pada kedalaman beberapa puluh senti meter didalam tanah. Untuk lebih memperkecil harga tahanan pentanahannya harus diperluas daerah pentanahannya karena cara ini lebih mudah bila dibandingkan dengan cara memperdalam konduktor.

2. Pentanahan Rod

Pentanahan rod yaitu sistem pentanahan yang menanamkan elektroda pentanahan regak lurus di permukaan tanah, fungsinya hanya untuk mengurangi atau memperkecil tahanan pentanahan, maka jumlah penanaman batang elektroda pentanahan dapat diperbanyak. Bila terjadi arus gangguan ketanah, maka arus gangguan ini akan mengakibatkan naiknya gradient di permukaan 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 diatas permukaan tanah sehingga tidak diperhitungkan tahanannya.

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



Tujuan pentanahan peralatan ini dapat diformulasikan sebagai berikut :⁹

1. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu.
2. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
3. Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.

2.5.5 Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada bangunan. Akibat dari sambaran petir akan mengakibatkan langsung pada objek yang tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir, maka diharapkan sambaran petir ini dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke bumi. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari penyaluran arus petir ke bumi adalah timbulnya flash over pada saluran hantaran penirin serta gradient tegangan di sekitar elektroda bumi.

2.6 Komponen Pentanahan

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

2.6.1 Hantaran Penghubung

Seperti yang kita ketahui pada instalasi listrik suatu saluran penghantar yang menghubungkan titik kontak pada badan atau rangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Pada instalasi penangkal petir yaitu saluran penghantar yang menghubungkan titik kontak pada terminal pentanahan batang dengan elektroda bumi. Kalau generator atau transformator, yaitu menghubungkan titik netralnya dengan elektroda pentanahan.

⁹ TS Hutahuruk. 1991. Pengetahuan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Penerbit Erlangga. Jakarta



2.6.2 Elektroda Pentanahan

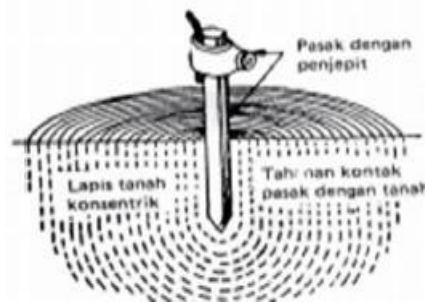
Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Sedangkan menurut SNI 225-87/320.A.1, elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan mengentarai hubungan dengan listrik dan bumi. Elektroda pentanahan tertanam sedemikian rupa dalam tanah berupa pita logam, batang konduktor. Elektroda pentanahan merupakan bagian yang langsung menyebarkan arus kedalam bumi, hubungan atau kontak elektroda dengan bumi ini harus sebaik mungkin, tahan terhadap gangguan arus lisrik, korosi maupun gangguan mekanik. Jadi yang diharapkan adalah hubungan listrik dengan impedansi yang serendah mungkin dan tahan lama. Ada beberapa macam elektroda pentanahan yang biasa dipakai, diantaranya elektroda pentanahan pita dan batang.

1. Sifat-Sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah

Hambatan arus melewati sistem elektroda tanah tiga komponen, yaitu :

- a. Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b. Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
- 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 antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari yang biasanya yang diduga. Apabila elektroda bersih dari cat atau minyak, dan tanah dapat dipasak dengan kuat maka biro Strandardisasi Nasional Amerika Serikat menyatakan bahwa tahanan kontak dapat diabaikan. Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ketanah akan menghantarkan arus ke semua jurusan. Jika ditinjau suatu elektroda yang ditanam di tanah yang terdiri atas bagian-bagian tanah dengan ketebalan yang sama seperti gambar berikut.

Gambar 2.10 Komponen sistem pentanahan ²

Lapisan tanah terdekat dengan pasak 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. Jarak ini disebut daerah tahanan efektif, yang juga sangat tergantung pada kedalaman pasak. Dari tiga macam komponen, tahanan tanah merupakan besaran yang paling kritis dan paling sulit dihitung ataupun dibatasi.

2.7 Sistem Yang Tidak Diketanahkan

Suatu sistem dikatakan tidak diketanahkan atau sistem delta bilamana tidak ada hubungan galvanis antara sistem itu dengan tanah. Pada sistem ini biasanya hanya konstruksi atau badan dari peralatan tersebut yang ditanahkan untuk menghindarkan peralatan tersebut dari tegangan sentuh yang membahayakan manusia.

2.8 Tahanan Jenis Tanah

Tanah merupakan campuran dari partikel-partikel cair, padat, dan gas. Susunan tanah itu sendiri memberikan suatu petunjuk yang baik pada tingkat mana tahanan jenis tanah itu akan diperkirakan. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, oleh karena tahanan jenis tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang ditetapkan. Sering dicoba untuk mengubah komposisi

² AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta. Hal.158



tanah dengan memberikan garam pada tanah yang dekat pada elektroda pentanahan, dengan maksud mendapat jenis tanah yang rendah.

Cara ini hanya baik untuk sementara, sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik sedikit-sedikitnya enam bulan sekali. Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah yang konstan. Pada sistem pentanahan tidak perlu ditanam lebih dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, maka variasi tanah sangat besar, karena kadangkala dipengaruhi oleh temperature dan kelembaban secara bervariasi. Harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk yaitu sewaktu tanah dalam keadaan kering dan dingin.

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi di sekeliling adalah jenis tanah yang dipresentasikan dengan ρ (rho). Harga jenis tanah pada daerah ke dalam yang terbatas tergantung dari beberapa faktor daya, yaitu :

- Tanah liat, berpasir, berbatu dan lain – lain.
- Berlapis – lapis dengan tahanan jenis berlainan.
- Kelembapan tanah.
- Temperatur.

Tahanan jenis tanah bervariasi dari 500 – 50.000 ohm/cm³. Kadang-kadang harga ini dinyatakan dengan ohm/cm. Pernyataan ohm/cm mempresentasikan tahanan diantara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume tanah berisi 1 cm³.

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 yang tertentu misalnya selama satu tahun. Biasanya tahanan tanah juga tergantung dari tingginya permukaan yang konstan. Pada sistem pentanahan yang tidak mungkin atau tidak perlu ditanam dalam sehingga mencapai air tanah yang konstan, variasi tahanan jenis tanah sangat besar. Penanaman memungkinkan kelembapan dan temperatur harga tahanan jenis tanah harus diambil pada keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin. Setelah diperoleh harga tahanan jenis tanah dan biasanya diambil harga yang tertinggi,



maka berdasarkan harga tahanan jenis tanah tersebut dibuat perencanaan jenis tanah harus dilakukan terlebih dahulu.

Tabel 2.1 Tahanan Jenis Tanah

No.	Sifat Tanah	Tahanan Spesifik Tanah Ωm
1	Tanah berair, tanah humus pada kondisi lembab	30
2	Tanah liat, tanah pertanian	100
3	Tanah liat, tanah berpasir	150
4	Tanah berpasir lembab	200
5	Tanah berpasir kering	1000
6	Koral pada kondisi lembab	500
7	Koral pada kondisi kering	1000
8	Tanah berbatu	3000

Dalam penggunaan data-data diatas sering terjadi kesulitan karena komposisi tanah biasanya terdiri dari dua atau lebih kombinasi lapisan daari bermacam-macam tanah. Hal yang penting dalam penyelidikan karakteristik tanah ialah mencari tahanan jenis tanah. Harga tahanan jenis tanah ini selalu bervariasi sesuai dengan keadaan tanah pada saat pengukuran, karena itu sebaiknya dicantumkan keadaan cuaca dan basah keringnya tanah pada waktu pengukuran dilakukan.

Tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang tertulis:

$$\rho = 2. \pi. d. R \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ρ =tahanan jenis rata-rata tanah (ohm-meter)

d =jarak anantara batang dan elektroda yang terdekat (meter)

R =besar tahanan yang diukur

Dari rumus diatas bisa dicari juga untuk besar nilai tahanan tanah yaitu sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho}{2. \pi. d} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.9 Kriteria Perencanaan Pentanahan



Yang menjadi kriteria dalam perencanaan pentanahan ialah keandalan yang tinggi dengan memperlihatkan faktor keselamatan manusia dan ekonomi.

1. Faktor keandalan meliputi sistem ini meliputi antara lain :
 - a. Pemilihan cara pembumian netral sistem dan pengamannya.
 - b. Penyesuaian pada interkoneksi.
2. Faktor keselamatan adalah untuk keselamatan manusia dalam maupun diluar transformator. Faktor meliputi usaha-usaha :
 - a. Keselamatan dan keadaan tidak ada gangguan.
 - b. Keselamatan dalam keadaan ada gangguan.
3. Faktor ekonomi mempertimbangkan investasi dari :
 - a. Pemilihan pentanahan netral sistem dan pengamannya.
 - b. Pemilihan tingkat isolasi dasar peralatan utama.
 - c. Usaha memperbaiki pengaruh induktif dan iterferensi radio.
 - d. Faktor iklim juga bisa mempengaruhi besar tahanan pentanahan pada trafo.

2.10 Pengukuran Tanah Pentanahan

Pengukuran perlu dilakukan sebelum sistem dioperasikan pertama kali. Waktu pemeliharaan atau setelah system ada gangguan. Sewaktu pelaksanaan pengukuran pentanahan, saluran (kawat) dari electrode kerangka perlatan harus dilepas. Pengukuran dilakukan pada electrode dengan alat uur earth teser. Untuk mendapatkan nilai resistansi dari elektroda pengetanahan haruslah mempunyai parameter yang meliputi: 1. Resistivitas tanah 2. Resistivitas air tanah 3. Dimensi elektroda pengetanahan 4. Ukuran elektroda pengetanahan PUIL 2000-3.19.1.4 : apabila hasil pengukurannya belum mencapai 5Ω . Maka Ground rood ditambah, dengan jarak 2 x panjangnya. Hukum OHM (GeorgeSimon Ohm- ahli Fisika Jerman) pada percobaan dalam bidang listrik dan menemukan dan menemukan hubungan antara tegangan dan arus yang dilewatkan pada suatu rangkain tertutup dihubungkan tegangan listrik sebesar 1 Volt, dan dipasangan listrik 1, maka akan mengalir arus listrik sebeasar 1 Ampere.



2.10.1 Macam Jenis Tanah

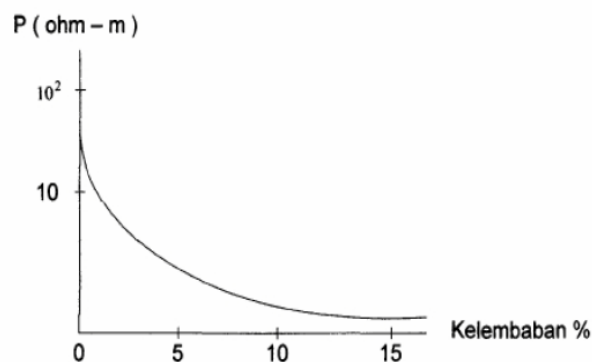
Besar tahanan jenis tanah untuk macam tanah berbeda tertulis pada tabel 2.1. Dari tabel 2.1 terlihat bahwa semakin lembab atau basah kandungan suatu tanah semakin kecil pula tahanan jenisnya.

2.10.2 Resistansi Tanah

Struktur dan karakteristik tanah merupakan salah satu faktor yang mutlak diketahui karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan sistem pentanahan yang akan digunakan. nilai tahanan jenis tanah harganya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanahnya. Batasan atau pengelompokan tahanan jenis dari berbagai macam jenis tanah pada kedalaman tertentu tergantung pada beberapa hal antara lain pengaruh temperature, pengaruh kelembaban, dan pengaruh kandungan kimia.

2.10.3 Konsentrasi serta Komposisi Larutan Garam

Semakin tinggi konsentrasi larutan garam dalam tanah semakin rendah tahanan jenisnya. Ini dikarenakan garam mempunyai hantaran listrik yang baik. Cara lain untuk memperkecil tahanan jenis tanah serta pengaruh dari pada musim adalah dengan jalan memberikan semacam zat kimia “rock salt” di sekitar elektroda secara periodik seperti terlihat pada gambar 2.6.

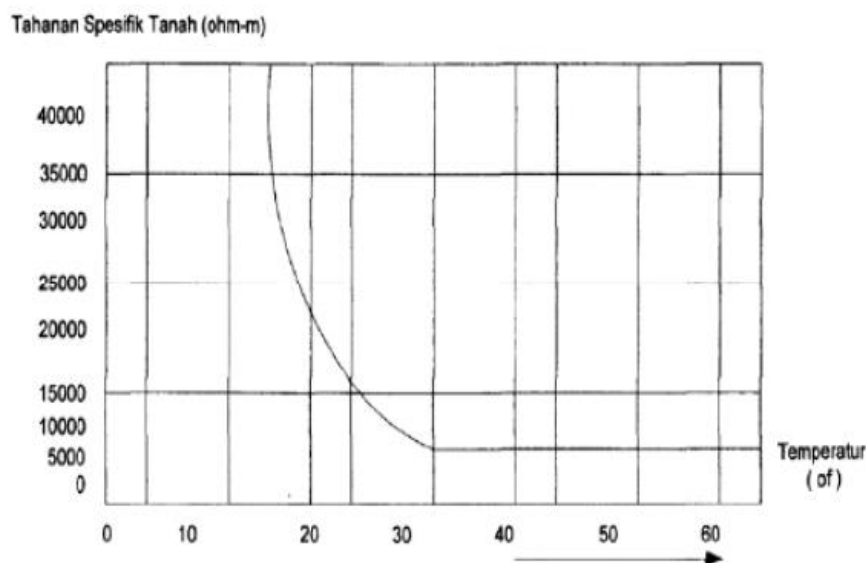


Gambar 2.11 Penggaraman Tanah (Soil Treatment)⁴



2.10.4 Suhu Tanah

Untuk daerah-daerah dengan suhu tinggi, kandungan yang terdapat dalam tanah pun menjadi sedikit sehingga konduktivitasnya juga menjadi berkurang. Sedangkan untuk daerah dengan suhu yang sangat rendah kandungan air dalam tanah lebih banyak sehingga resistansi jenis tanah akan tinggi karena ion – ion arus listrik lebih mudah bergerak dalam larutan air. Dengan kata lain, suhu tanah di sekitar elektroda pentanahan juga berpengaruh terhadap besarnya tahanan jenis tanah terutama bila temperaturnya berada pada titik beku. Pada temperatur titik beku, air di dalam tanah akan membeku, molekul – molekul air di dalam tanah akan sulit untuk bergerak sehingga daya hantar listrik ke tanah menjadi lebih rendah sekali. jadi untuk mendapatkan tahanan jenis tanah akan menjadi besar sekali. dan jika ingin mendapatkan tahanan jenis tanah rendah, maka elektroda hendaknya dipasang pada suhu di atas titik beku.



Gambar 2.12 Temperatur Terhadap Tahanan Jenis Tanah

2.10.5 Kandungan Air

Kandungan air di dalam tanah dapat melarutkan bermacam – macam garam yang ada di dalam tanah. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa



larutan garam akan sangat mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah. Kandungan air dapat disebabkan oleh curah hujan ataupun karena kondisi setempat berupa tanaman atau hutan yang dapat menambah lembabnya tanah. Jadi, semakin banyak kandungan air larutan garam pun semakin tinggi sehingga tahanan pentanahannya akan semakin rendah

2.10.6 Ukuran Butiran Tanah

Sifat alami dari suatu tanah yaitu menjadi butiran – butiran, makin besar butiran – butiran makin kecil kemampuan untuk menyimpan kandungan air, sehingga akan semakin tinggi nilai tahanan jenisnya.

2.10.7 Pengaruh Musim

Pengaruh musim akan mempengaruhi jumlah kandungan air di dalam tanah. Jadi, secara tidak langsung pengaruh musim akan mempengaruhi besar kecil-nya tahanan jenis tanah. Selain hal – hal tersebut diatas pada kenyataannya bahwa tanah itu sendiri dan lapisan – lapisan dengan resistansi yang berbeda – beda. Faktor – faktor tersebut di atas tidak dapat dirumuskan dengan pasti, sehingga besaran resistansi yang tepat harus di dapat dengan cara pengukuran setempat.

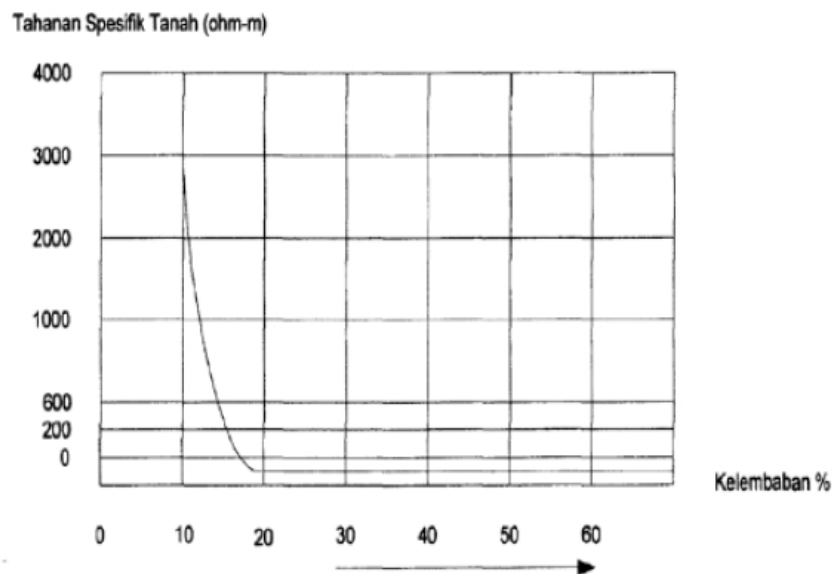
2.10.8 Pengaruh Kelembaban

Harga jenis tahanan tanah sangat dipengaruhi oleh konsentrasi air tanah. Pada kelembaban tanah yang rendah tahanan jenis tanah besar, sebaliknya semakin besar konsentrasi air di dalam tanah, maka harga tahanan jenis tanah akan semakin kecil. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Proses mengalirnya arus listrik ke dalam tanah sebagian tanah sebagian besar adalah proses elektrolisis, maka adri konsentrasi air di dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik ke dalam tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi air tanah. Semakin besar konsentrasi air di dalam tanah maka konduktivitas air di dalam tanah semakin besar.



Tanah yang kering atau tanah dengan konsentrasi air di dalam tanahnya rendah sekali (di bawah 10%) mempunyai tahanan jenis besar sekali. Gambar 2.4 menunjukkan pengaruh kelembaban tanah terhadap tahanan jenis tanah. Satu hal yang menarik dari gambar adalah bahwa harga tahanan jenis tanah menunjukkan adanya kejenuhan untuk kelembaban tidak berpengaruh terhadap tahanan jenis tanah.



Gambar 2.13 Perubahan Tahanan Jenis Tanah Terhadap Kelembaban

2.11 Elektroda Pentanahan

Dalam sistem pentanahan sangat diperluakan elektroda pentanahan, yaitu macam – macam dan bentuk elektroda yang digunakan dan dipilih sedemikian rupa sehingga tahanan pentanahan yang dihasilkan sekecil sampai pada harga yang diizinkan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang serendah mungkin memiliki beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dari suatu elektroda pentanahan.

1. Tahanan elektroda pentanahan harus lebih kecil dan pada harga yang direkomendasikan.
2. Elektroda pentanahan harus mampu dialiri oleh hubungan singkat yang besar.



3. Elektroda pentanahan mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.
4. Elektroda pentanahan mempunyai sifat mekanis yang baik.

2.11.1 Macam-Macam Elektroda Pentanahan²

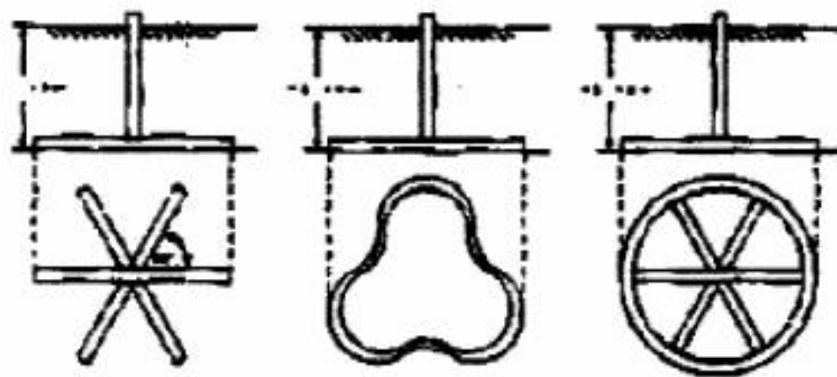
Ada beberapa macam bentuk pentanahan :

1. Berbentuk pita
2. Berbentuk plat
3. Berbentuk batang

Adapun bentuk-bentuk elektroda pembedaan adalah sebagai berikut :

1. Elektroda Pita

Elektroda pita dibuat dari baja yang dihipersink dengan penampang 100 mm^2 tebal 3 mm. kalau dibuat dari tembaga penampangnya 50 mm^2 . Elektroda ini ditanam dalam tanah sedalam 0.5 sampai 1 m. Elektroda bentuk pita ini terdiri dari 3 macam yaitu bentuk sharl, bentuk cincin, bentuk maschen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.9



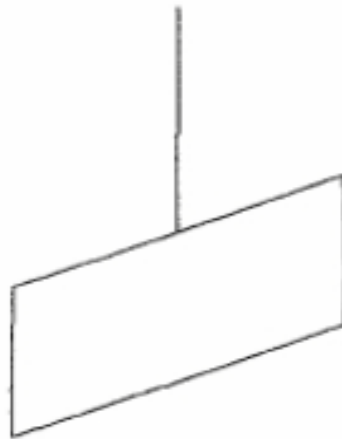
Gambar 2.14 Elektroda Pita

² AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta.



2. Elektroda Plat

Elektroda plat terbuat dari besi dengan ukuran minimum tebal 3 mm, luas 0.5 m^2 - 1 m^2 atau pelat tembaga dengan tebal 2 mm, luas 0.5 m^2 - 1 m^2 yang ditanam secara vertical dengan sisi atas $\pm 1 \text{ m}$ di bawah permukaan tanah. Semakin banyak jumlah plat diparalelkan dalam pentanahan itu makin kecil tahanan pentanahan itu, dan plat yang terpasang itu jarak satu dengan yang lain paling sedikit 3m.



Gambar 2.15 Elektroda Plat

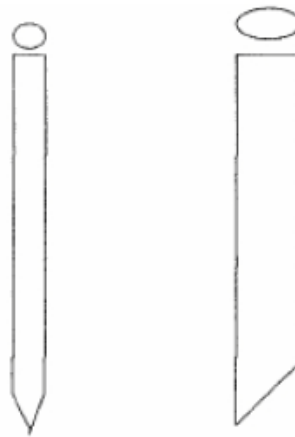
3. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertical di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga ataupun stainless steel. Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pita atau batang baja profil maupun logam lain yang dipasangkan tegak lurus ke dalam tanah. Dalam pemasangan elektroda batang diusahakan setegak lurus mungkin, dengan tujuan agar dicapai kedalaman yang maksimum, dimana diharapkan terdapat lapisan tanah dengan tahanan jenis yang cukup rendah.

Dalam perhitungan diasumsikan batang tertanam tegak lurus, sehingga kedalam elektroda tertanam sama dengan panjangnya batang yang ditanam. Besarnya tahanan pentanahan elektroda batang tergantung pada kedalaman batang



yang tertanam, tetapi ada kalanya dengan menggunakan sebuah elektroda batang saja tidak tercapai nilai tahanan pentanahan yang diinginkan, sehingga dalam pemasangannya sering digunakan beberapa elektroda batang yang dihubungkan satu dengan yang lainnya. Elektroda batang ini ditanam dengan kedalaman antara 1-10 meter. Elektroda pentanahan bentuk batang terbuat dari pipa atau propil. Elektroda ini ditanam tegak lurus kedalam tanah.



Gambar 2.16 Elektroda Batang

2.12 Perhitungan Tahanan Pentanahan Menggunakan Elektroda Batang

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

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

- R = Tahanan elektroda pentanahan (Ohm)
- a = Jari – jari elektroda batang (cm)
- L = Panjang elektroda batang ke tanah (cm)
- P = Tahanan jenis tanah (Ohm-m)

Untuk menghitung tahanan pentanahan dimana elektroda pentanahannya di pasang paralel :

- a. Dua batang elektroda pentanahan yang dipasang paralel :



$$\frac{\text{Tahanan 2 pasak paralel}}{\text{Tahanan pasak tunggal}} = \frac{1+x}{2} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana, $x = \left(\frac{L}{\ln \frac{48L}{\alpha} - 1} \right) / d$, d antara 2 pasak paralel.

- b. Tiga batang elektroda pentanahan yang dipasang paralel :

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

- c. Batang paralel jamak yang disusun dalam segi – empat kosong atau segi – empat berisi. Apabila jumlah pasak adalah N , maka :

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

2.13 Pengaruh Tahanan Tanah Terhadap Tahanan Elektroda

Tahanan elektroda pentanahan ke tanah tidak hanya tergantung pada kedalaman dan luas permukaan elektroda, tetapi juga pada tahanan tanah. Tahanan tanah merupakan faktor kunci yang menentukan tahanan elektroda dan pada kedalaman berapa elektroda atau pasak harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah sangat bervariasi di berbagai tempat, dan berubah tahanannya menurut iklim. Tahanan tanah ini ditentukan oleh kandungan elektrolit didalamnya, kandungan air, mineral-mineral, dan garam-garam. Tanah yang kering mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam-garam yang dapat larut.

Karena tahanan tanah berkaitan langsung dengan air dan suhu, maka dapat saja diasumsikan bahwa tahanan pentanahan suatu sistem akan berubah sesuai perubahan iklim setiap tahunnya. Variasi-variasi tersebut dapat dilihat karena kandungan air dan suhu lebih stabil pada kedalaman yang lebih besar, maka agar dapat bekerja efektif sepanjang waktu, sistem pentanahan dapat dikonstruksikan dengan elektroda atau pasak tanah yang ditancapkancukup dalam dibawah permukaan tanah. Hasil terbaik akan diperbolehkan apabila kedalaman elektroda atau pasak mencapai tingkat kandungan air yang tetap.²

² AS Pabla dan Abdul Hadi. 1991. Sistem Distribusi Daya Listrik. Penerbit Erlangga. Jakarta. Hal.159.



2.13.1 Faktor-faktor Yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan elektroda tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

1. Panjang elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkannya.
2. Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari jenis tanah sekeliling elektroda.