



BAB II

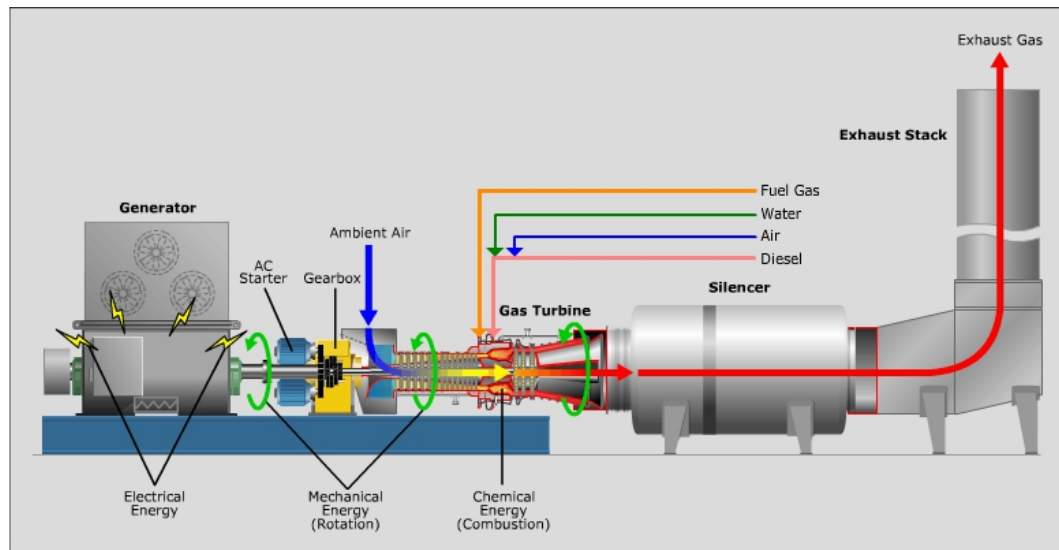
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Generator

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Walau generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Generator mendorong muatan listrik untuk bergerak melalui sebuah sirkuit listrik eksternal, tapi generator tidak menciptakan listrik yang sudah ada di dalam kabel lilitannya. Hal ini bisa dianalogikan dengan sebuah pompa air, yang menciptakan aliran air tapi tidak menciptakan air di dalamnya. Sumber energi mekanik bisa berupa resiprokat maupun turbin mesin uap, air yang jatuh melalui sebuah turbin maupun kincir air, mesin pembakaran dalam, turbin angin, engkol tangan, energi surya atau matahari, udara yang dimanfaatkan, atau apa pun sumber energi mekanik yang lain.

2.1.1 Generator Turbin Gas

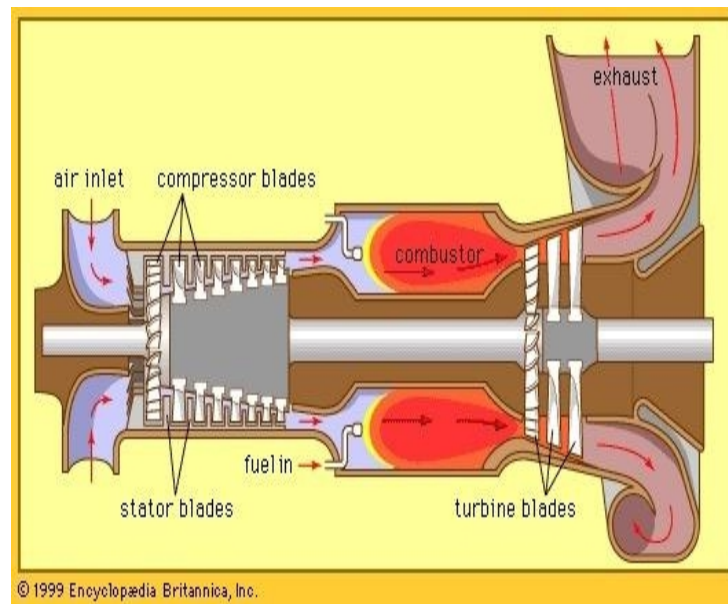
Generator turbin gas adalah suatu alat yang memanfaatkan gas sebagai fluida untuk memutar turbin dengan pembakaran internal sehingga dapat memutar generator lalu menghasilkan listrik. Didalam turbin gas, energi kinetik dikonversikan menjadi energi mekanik melalui udara bertekanan yang memutar roda turbin sehingga menghasilkan daya. Pada gambar 2.1 memperlihatkan sebuah gambaran dari konstruksi generator turbin gas.



Gambar 2.1 Konstruksi Generator Turbin Gas

Prinsip kerja dari turbin gas tidak jauh berbeda dengan turbin-turbin yang lain. Putaran dari rotor turbin, diakibatkan oleh adanya gas bertekanan yang melewati sudu-sudu turbin. Gas dengan tekanan tinggi didapatkan dari pembakaran bahan bakar dengan udara, sesaat sebelum masuk turbin. Ekspansi udara hasil proses pembakaran inilah yang digunakan untuk menggerakkan sudu-sudu turbin.

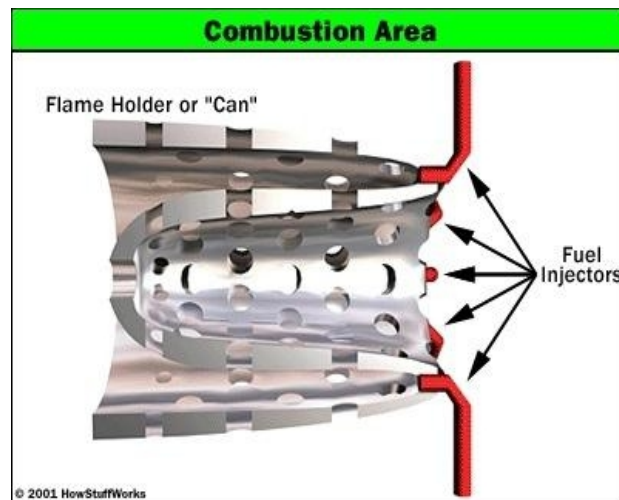
Pada gambar 2.2 memperlihatkan bagaimana aliran fluida kerja turbin gas dapat bergerak.



Gambar 2.2 Aliran Fluida Kerja Turbin Gas

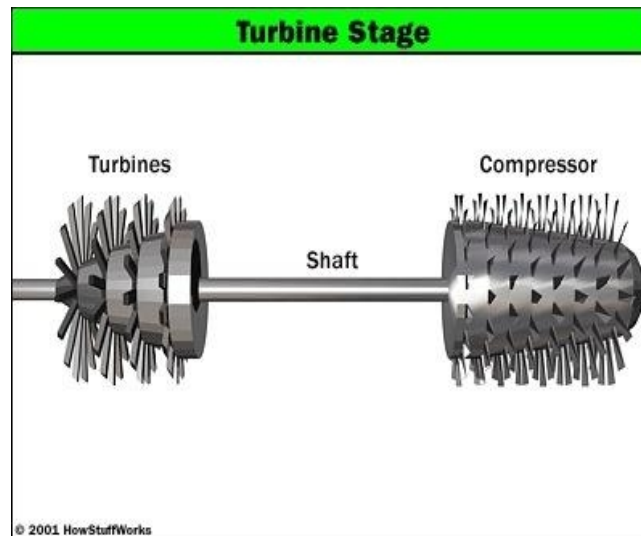
Udara masuk melalui sisi inlet akibat terhisap oleh kompresor. Kompresor ini berfungsi untuk memampatkan udara hingga mencapai tekanan tertentu. Biasanya, tekanan di akhir sudu kompresor mencapai 30 kali tekanan inlet kompresor. Pada sisi akhir kompresor udara bertekanan akan melewati difuser. Difuser ini berfungsi untuk mendukung kompresor meningkatkan tekanan udara.

Proses selanjutnya adalah masuknya udara bertekanan yang keluar dari kompresor untuk menuju area pembakaran (biasa disebut *combustion chamber*). Di area ini, dilakukan injeksi bahan bakar diikuti dengan proses pembakaran bahan bakar tersebut di dalam udara. Pembakaran ini mengakibatkan terjadinya ekspansi dari udara sehingga volume udara hasil pembakaran meningkat, dan tentu saja temperaturnya yang juga meningkat. Proses pembakaran di dalam *chamber* tidak akan meningkatkan tekanan udara, karena peningkatan volume udara akibat pemanasan cepat mengakibatkan udara berekspansi ke sisi turbin. Pada gambar 2.3 memperlihatkan sebuah area pembakaran turbin gas tempat udara bertekanan masuk.



Gambar 2.3 Area Pembakaran Turbin Gas

Sedangkan kenaikan suhu udara hasil pembakaran, mengindikasikan kandungan energi dalam udara (entalpi) yang naik pula. Energi inilah yang akan dikonversikan menjadi tenaga putaran poros oleh turbin gas. Udara hasil pembakaran selanjutnya masuk ke sisi turbin. Turbin gas terdiri atas beberapa *stage* sudu. *Stage* pertama yang dilewati oleh udara pembakaran disebut sisi *high pressure stage* (tekanan tinggi), sedangkan sudu yang paling akhir disebut dengan sisi *low pressure stage* (tekanan rendah). Sudu-sudu dari tiap *stage* turbin uap berfungsi sebagai nozzle, yang akan mengubah energi panas yang terkandung di dalam udara hasil pembakaran untuk menjadi energi gerak. Selain sisi rotor, sudu turbin juga terdapat pada sisi stator. Pada gambar 2.4 menunjukkan bahwa kompresor dan turbin gas berada pada satu shaft (poros).



Gambar 2.4 Kompresor dan Turbin Gas Berada Pada Satu *Shaft*

Kompresor pada sistem turbin gas, berada pada satu poros (*shaft*) dengan turbin. Sebagian energi mekanis berupa rotasi poros yang dihasilkan oleh turbin, digunakan untuk memutar rotor kompresor. Pada pembangkit listrik, sebagian energi mekanis digunakan untuk memutar generator yang juga berada satu poros dengan turbin dan kompresor. Setelah melewati turbin ini gas tersebut akan dibuang keluar melalui saluran buang (*exhaust*). Secara umum proses yang terjadi pada suatu sistem turbin gas adalah sebagai berikut:

1. Pemampatan (*compression*) udara di hisap dan dimampatkan
2. Pembakaran (*combustion*) bahan bakar dicampurkan ke dalam ruang bakar dengan udara kemudian di bakar.
3. Pemuaian (*expansion*) gas hasil pembakaran memuai dan mengalir ke luar melalui nozel (*nozzle*).
4. Pembuangan gas (*exhaust*) gas hasil pembakaran dikeluarkan lewat saluran pembuangan.

2.2 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.

2.2.1 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 :

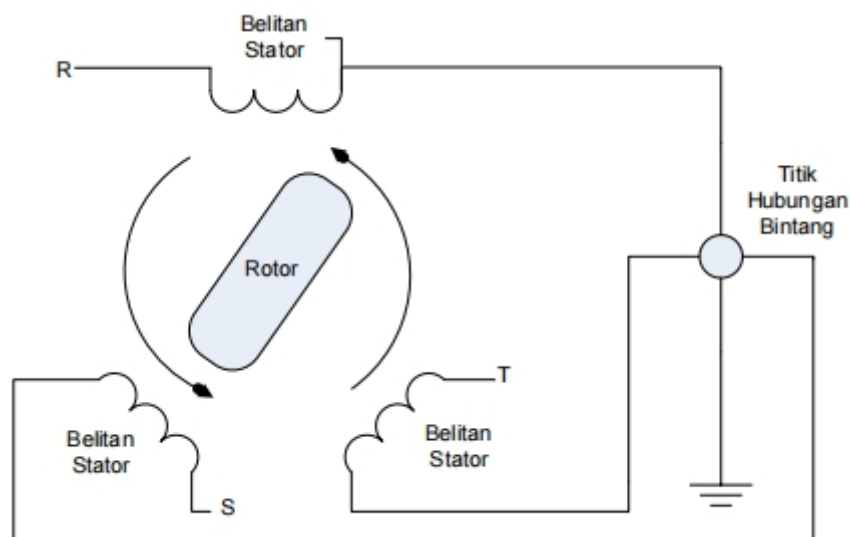
- Menginterupsi kontinuitas pelayanan daya ke beban.
- Penurunan tegangan yang cukup besar sehingga kualitas-kualitas listrik rendah dan merintangi kerja normal peralatan konsumen.
- Pengurangan stabilitas sistem yang menyebabkan jatuhnya generator.
- Merusak peralatan pada daerah gangguan.

2.2.2 Pentanahan Generator

Dahulu sistem tenaga listrik tiga fasa tidak ditanahkan, terutama sistem tiga fasa merupakan sistem yang paling efisien dalam hal pemakaian konduktor tembaga. Selain itu ketika terjadi gangguan ke tanah pertama tidak timbul arus gangguan dan hal ini merupakan suatu keuntungan meskipun peristiwa tersebut disertai oleh timbulnya kejutan listrik yang berbahaya. Pada gambar 2.5

menunjukkan bagaimana sebuah generator ditanahkan.

Ternyata dari pengalaman-pengalaman dengan sistem yang tidak ditanahkan banyak motor-motor listrik dalam instalasi industri mengalami kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh tegangan lebih yang timbul karena terjadinya busur listrik. Untuk mencegah terjadinya tegangan lebih tersebut maka generator atau sistem tenaga listrik ditanahkan dan biasanya dilakukan pentanahan secara langsung yang sangat efektif untuk membatasi tegangan fasa ke tanah. Juga beban-beban yang terpasang diantara fasa dan netral tetap dapat dilayani tanpa menimbulkan bahaya tegangan antara netral dengan tanah pada keadaan mengalami gangguan tanah. Pada gambar 2.5 memperlihatkan rangkaian bagaimana sebuah generator ditanahkan..



Gambar 2.5 Pentanahan Generator

Tegangan lebih yang bersifat transien harganya mencapai 5 atau 6 kali tegangan normalnya. Terjadinya tegangan lebih transien disebabkan oleh penyalaan dan pemadaman busur listrik pada rangkaian yang terdiri dari induktansi, kapasitansi dan tahanan.

Tujuan pentanahan titik netral generator pada garis besarnya adalah :

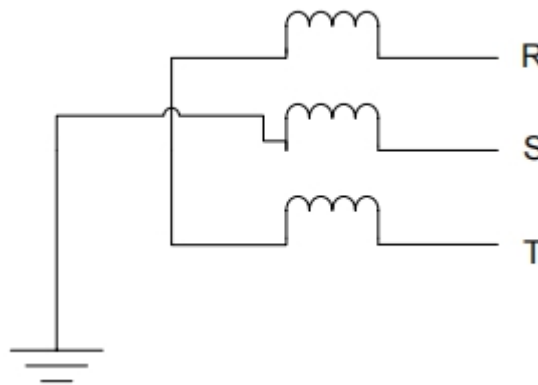
1. Untuk mengurangi kerusakan pada titik gangguan.
2. Untuk membatasi tegangan lebih transien / sementara.

3. Mendeteksi dengan peka terhadap kerusakan titik netral.
4. Menstabilkan titik netral yaitu menjaga supaya titik netral berada pada atau didekat potensial tanah.

2.2.3 Pentanahan Titik Netral Secara Langsung

Pada sistem-sistem yang netralnya ditanahkan secara langsung atau tanpa impedansi bila terjadi gangguan fasa ke fasa maka gangguan tersebut harus diisolir dengan membuka pemutus tenaga. Salah satu tujuan dengan mentanahkan titik netral secara langsung ialah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah. Pentanahan titik netral secara langsung biasanya digunakan pada sistem yang bertegangan rendah (0 sampai 600 V), kadang-kadang digunakan juga pada sistem bertegangan menengah.

Untuk menjelaskan perihal pentanahan titik netral secara langsung, Ditinjau masalah terjadinya gangguan ke tanah pada salah satu fasa generator yang titik netralnya ditanahkan secara langsung. Pada gambar 2.6 memperlihatkan sebuah rangkaian ekuivalen yang titik netralnya ditanahkan secara langsung.



Gambar 2.6 Pentanahan Secara Langsung

Keuntungan pentanahan secara langsung :

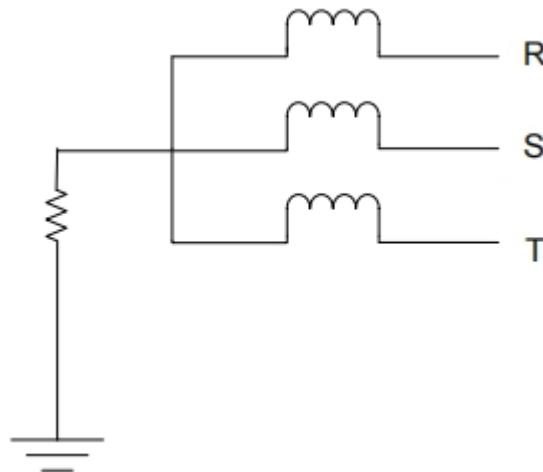
- Tegangan lebih pada fasa-fasa yang tidak terganggu relatif kecil
- Kerja pemutus daya untuk melokalisir lokasi gangguan dapat dipermudah, sehingga letak gangguan cepat diketahui
- Sederhana dan murah dari segi pemasangan.

Kerugian pentanahan secara langsung :

- Gangguan fasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya
- Arus gangguan ke tanah besar, sehingga dapat membahayakan makhluk hidup dan peralatan listrik yang dilaluinya.

2.2.4 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan

Pentanahan titik netral melalui tahanan (resistance grounding) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (resistor), sebagai contoh terlihat pada gambar 2.7 rangkaian pentanahan titik netral melalui tahanan.



Gambar 2.7 Penatanahan Melalui Tahanan.

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistem pada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya besar arus gangguan fasa ke tanah pertama-tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan fasa ke tanah. Dengan memilih harga tahanan yang tepat, arus gangguan ketanah dapat dibatasi sehingga harganya hampir sama bila gangguan terjadi disegala tempat didalam sistem bila tidak terdapat titik pentanahan lainnya. Dalam menentukan nilai tahanan pentanahan akan menentukan besarnya arus gangguan tanah.

Keuntungan pentanahan melalui tahanan :

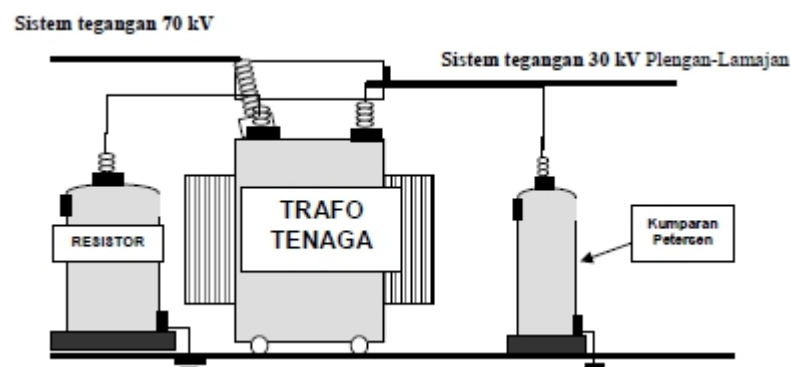
- Besar arus gangguan tanah dapat diperkecil
- Bahaya gradient voltage lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.
- Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugian pentanahan melalui tahanan:

- Timbulnya rugi-rugi daya pada tahanan pentanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.
- Karena arus gangguan ke tanah relatif kecil, kepekaan rele pengaman menjadi berkurang dan lokasi gangguan tidak cepat diketahui.

2.2.5 Pentanahan Titik Netral Melalui Kumaran Petersen

Sistem pentanahan dengan kumaran Petersen adalah dimana titik netral dihubungkan ke tanah melalui kumaran Petersen (Petersen Coil). Kumaran Petersen ini mempunyai harga reaktansi (X_L) yang dapat diatur dengan menggunakan tap. Gambar 2.8 memperlihatkan Petersen coil yang terpasang di PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Barat, yaitu pada sistem 30 kV Plengan-Lamajan.



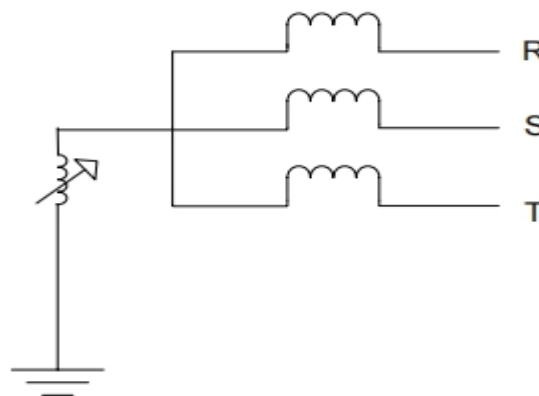
Gambar 2.8 Contoh Pentanahan Melalui Kumaran Petersen.

Pada hakekatnya tujuan dari pentanahan dengan kumaran Petersen adalah untuk melindungi sistem dari gangguan hubung singkat fasa ke tanah yang sementara sifatnya (temporary fault), yaitu dengan membuat arus gangguan yang sekecil-kecilnya dan pemadaman busur api dapat terjadi dengan sendirinya.

Kumaran Petersen berfungsi untuk memberi arus induksi (IL) yang

mengkompensir arus gangguan, sehingga arus gangguan itu kecil sekali dan tidak membahayakan peralatan listrik yang dilaluinya. Arus gangguan ke tanah yang mengalir pada sistem sedemikian kecilnya sehingga tidak langsung mengerjakan rele gangguan tanah untuk membuka pemutusnya (PMT) dari bagian yang terganggu. Dengan demikian kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap berlangsung untuk beberapa waktu lamanya walaupun sistem dalam keadaan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yang berarti pula dapat memperpanjang umur dari pemutus tenaga (PMT).

Sebaliknya sistem pentanahan dengan kumparan Petersen ini mempunyai kelemahan, yaitu sulit melokalisir gangguan satu fasa ke tanah yang bersifat permanen dan biasanya memakan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat yang permanen itu dapat mengganggu bagian sistem yang lainnya. Oleh karena itu hubung singkat tersebut tetap harus dilokalisir dengan menggunakan rele hubung singkat ke tanah (Ground fault relay). Pada gambar menunjukkan 2.9 Rangkaian sistem pentanahan dengan kumparan Petersen.



Gambar 2.9 Pentanahan Melalui Kumparan Petersen.

Keuntungan pentanahan dengan kumparan Petersen :

- Arus gangguan dapat dibuat kecil sehingga tidak berbahaya bagi makhluk hidup.
- Kerusakan peralatan sistem dimana arus gangguan mengalir dapat dihindari.
- Sistem dapat terus beroperasi meskipun terjadi gangguan fasa ke tanah.



- Gejala busur api dapat dihilangkan.

Kerugian pentanahan dengan kumparan Petersen :

- Rele gangguan tanah sukar dilaksanakan karena arus gangguan tanah relatif kecil.
- Tidak dapat menghilangkan gangguan fasa ke tanah yang menetap pada sistem.
- Operasi kumparan Petersen harus selalu diawasi karena bila ada perubahan pada sistem, kumparan Petersen harus disetel (tuning) kembali.

2.2.6 Jenis-jenis pentanahan

1. Single Grounding

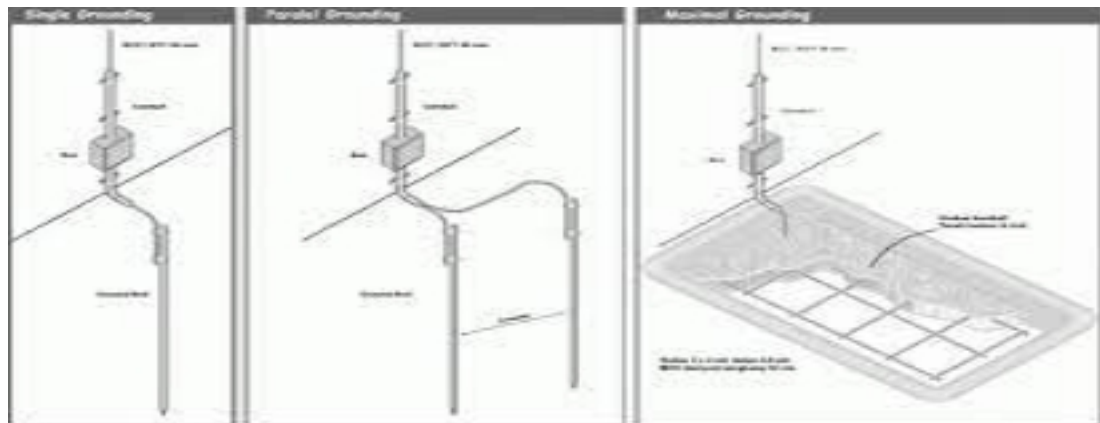
Yaitu dengan menancapkan sebuah batang logam/pasak biasanya di pasang tegak lurus masuk kedalam tanah.

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

2.2.7 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 dilokalisasi 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

2.2.8 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 naikknya 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 :

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.

2.2.9 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.

2.3 Komponen Pentanahan

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

2.3.1 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.

2.3.2 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 ke dalam bumi, hubungan atau kontak elektroda dengan bumi ini harus sebaik mungkin, tahan terhadap gangguan arus listrik, 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.

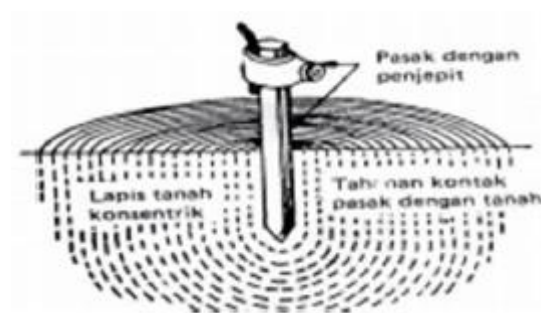
1. Sifat-Sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Tanah

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 Standardisasi 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 2.11 Komponen sistem pentanahan

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.

2.4 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.



2.5 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 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 palig 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 dari 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:

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



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

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

Dimana :

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

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

R =besar tahanan yang diukur

2.6 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.

2.7 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 tesar. 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 (George Simon 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 dipasangkan listrik 1, maka akan mengalir arus listrik sebesar 1 Ampere.

2.7.1 Macam Jenis Tanah

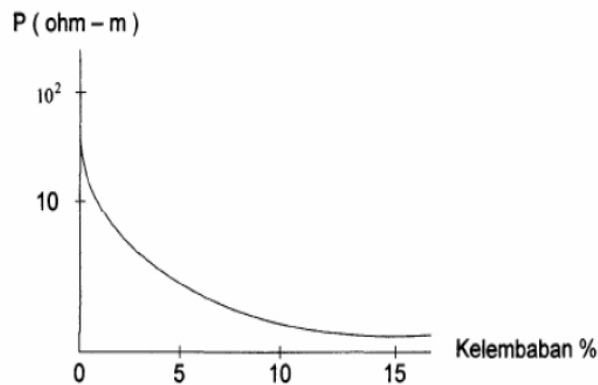
Besar tahanan jenis tanah untuk macam tanah berbeda tertulis pada tabel 2.1. Dari tabel 2.1 terlihat bahwa semakin lembab atau basah kandungan suatu tanah semakin kecil pula tahanan jenisnya.

2.7.2 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.

2.7.3 Konsentrasi serta Komposisi Larutan Garam

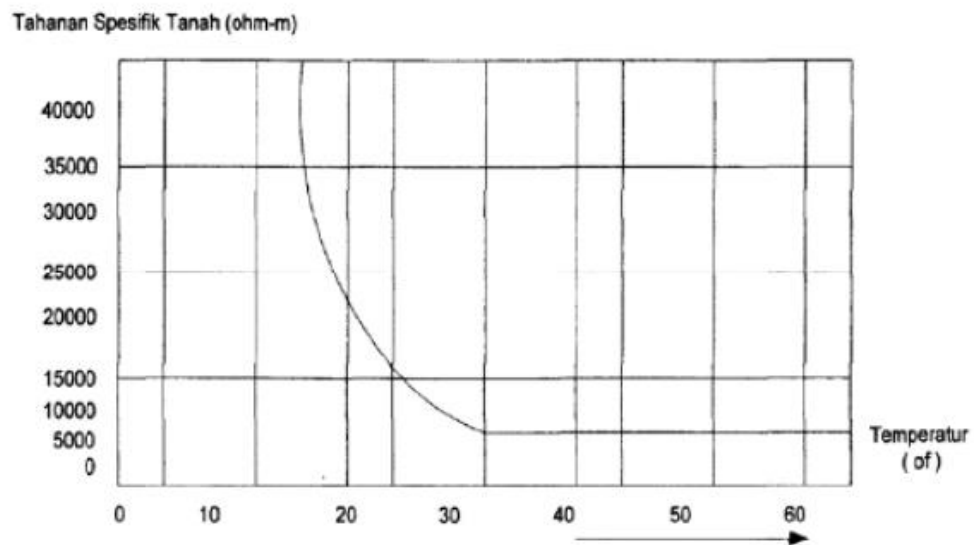
Semakin tinggi konsentrasi larutan garam dalam tanah semakin rendah tahanan jenisnya. Ini dikarenakan garam mempunyai hantaran listrik yang baik. Cara lain untuk memperkecil tahanan jenis tanah serta pengaruh dari pada musim adalah dengan jalan memberikan semacam zat kimia “rock salt” di sekitar elektroda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



Gambar 2.12 Penggaraman Tanah (Soil Treatment)

2.7.4 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 2.13 Temperatur Terhadap Tahanan Jenis Tanah

2.7.5 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

2.7.6 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.

2.7.7 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,

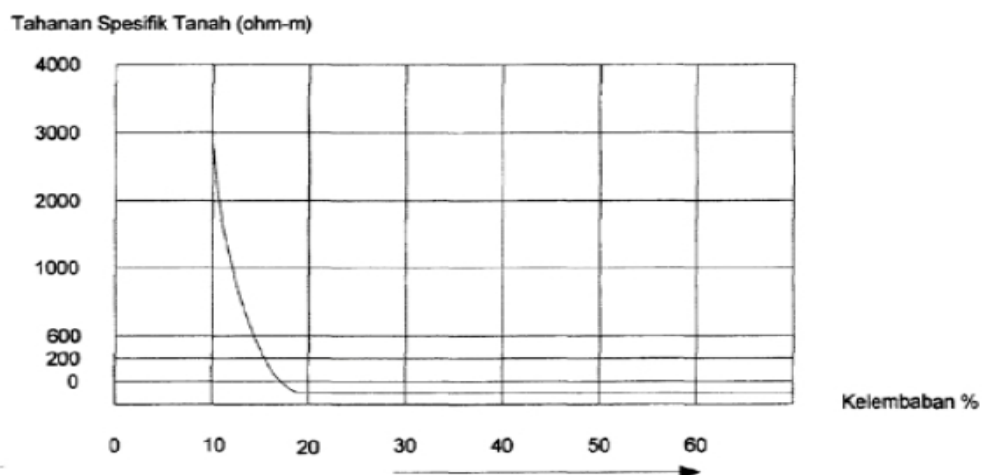
sehingga besaran resistansi yang tepat harus di dapat dengan cara pengukuran setempat.

2.7.8 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 2.14 Perubahan Tahanan Jenis Tanah Terhadap Kelembaban



2.8 Elektroda Pentanahan

Dalam sistem pentanahan sangat diperlukan 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.

2.8.1 Macam-Macam Elektroda Pentanahan

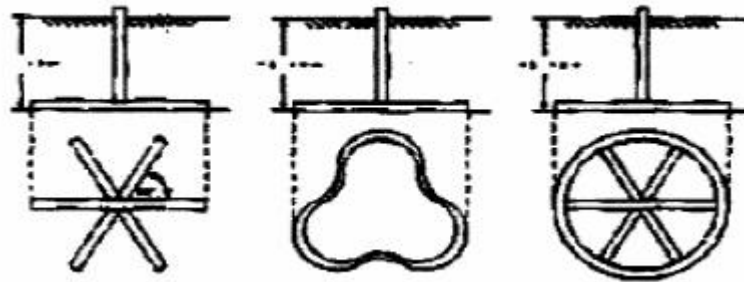
Ada beberapa macam bentuk pentanahan :

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

Adapun bentuk-bentuk elektoda pembedaan adalah sebagai berikut :

1. Elektroda Pita

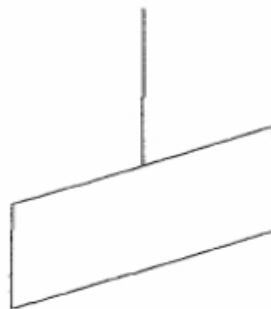
Elektroda pita dibuat dari baja yang dihipersink dengan penampang 100mm^2 tebal 3 mm. kalau dibuat dari tembaga penampangnya 50mm^2 . Elektroda ini ditanam dalam tanah sedalam 0.5 sampai 1 m. Elektroda bentuk pita ini terdiri dari 3 macam yaitu bentuk sharl, bentuk cincin, bentuk maschen seperti yang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



Gambar 2.15 Elektroda Pita

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 2.16 Elektroda Plat

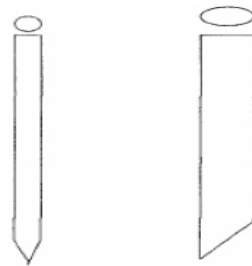
3. Elektroda Batang

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 profil. Elektroda ini ditanam tegak lurus kedalam tanah.



Gambar 2.17 Elektroda Batang

2.9 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, $X = \left(\frac{L}{\ln \frac{48L}{a} - 1} \right) / d$, 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 :

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

2.10 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 sesuaiperubahan 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.

2.10.1 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.