

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN KONDUKTIF TERHADAP TAHANAN PENTANAHAN PADA ELEKTRODA BATANG

Putri Permatasari Rohi Mola. Dr. Ir. Frans J. Likadja ST,MM*,Prof. Dr. Ir. H Sudirman S., ST, IPM**

Sistem pentanahan yang baik harus memiliki nilai resistansi yang rendah agar mampu mengalirkan arus gangguan ke tanah secara optimal dan melindungi peralatan listrik. Pada tanah dengan resistivitas tinggi, diperlukan perlakuan khusus seperti penambahan zat aditif untuk menurunkan nilai tahanan pentanahan. Salah satu bahan yang digunakan adalah semen konduktif yang memiliki sifat konduktif, nonkorosif, dan stabil terhadap kondisi lingkungan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan membandingkan nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang tanpa dan dengan penambahan semen konduktif pada kedalaman 0,3 m, 0,4 m, dan 0,5 m dan pengukuran dilakukan selama 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tahanan pentanahan tanpa penambahan semen konduktif pada kedalaman 0,3 m adalah 564 Ω , sedangkan pada kedalaman 0,4 m menjadi 445 Ω , dan pada kedalaman 0,5 m menurun menjadi 266 Ω . Hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan dengan penambahan semen konduktif pada kedalaman 0,3 m adalah 437 Ω , sedangkan pada kedalaman 0,4 m menjadi 335 Ω . Kedalaman 0,5 m merupakan kedalaman paling efektif karena memberikan nilai tahanan terendah sebesar 142 Ω . Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam penanaman elektroda, nilai tahanan pentanahan semakin menurun. Selain itu, penambahan semen konduktif terbukti mampu menurunkan nilai tahanan secara signifikan. Dengan demikian, penggunaan semen konduktif dan peningkatan kedalaman elektroda efektif dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan, sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem pentanahan sesuai standar yang diharapkan.

Kata kunci: sistem pentanahan, tahanan tanah, semen konduktif, elektroda batang.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADDITIONAL CONDUCTIVE CEMENT ON GROUNDING RESISTANCE IN ROD ELECTRODES

Putri Permatasari Rohi Mola, Dr. Ir. Frans J. Likadja ST, MM*, Prof. Dr. Ir. H Sudirman S., ST, IPM**

A good grounding system must have a low resistance value to be able to optimally channel fault currents to the ground and protect electrical equipment. In soils with high resistivity, special treatments are required such as the addition of additives to reduce the grounding resistance value. One of the materials used is conductive cement which has conductive, non-corrosive, and stable properties against environmental conditions. The method used in this study is an experimental method by comparing the grounding resistance value on the rod electrode without and with the addition of conductive cement at a depth of 0.3 m, 0.4 m, and 0.5 m and measurements were carried out for 7 days. The results showed that the grounding resistance value without the addition of conductive cement at a depth of 0.3 m was 564 Ω , while at a depth of 0.4 m it became 445 Ω , and at a depth of 0.5 m it decreased to 266 Ω . The results of the measurement of the grounding resistance value with the addition of conductive cement at a depth of 0.3 m were 437 Ω , while at a depth of 0.4 m it became 335 Ω . A depth of 0.5 m is the most effective depth, providing the lowest resistance value of 142 Ω . This indicates that the deeper the electrode is embedded, the lower the grounding resistance value. Furthermore, the addition of conductive cement has been shown to significantly reduce the resistance value. Therefore, the use of conductive cement and increasing the electrode depth are effective in reducing the grounding resistance value, thereby improving the performance of the grounding system to meet the expected standards.

Keywords: *grounding system, soil resistance, conductive cement, rod electrode.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sistem pentanahan adalah faktor penting untuk pengaman sistem tenaga listrik saat terjadinya gangguan arus atau tegangan lebih. Sistem pentanahan digunakan sebagai sistem yang menghubungkan suatu peralatan listrik dengan tanah dimana pada kondisi normal tidak dialiri arus. Pada saat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik, dengan adanya sistem pentanahan arus gangguan akan dialirkan kedalam sistem hubungan penghantar yang menghubungkan badan peralatan dan instalasi listrik dengan bumi sehingga dapat mengamankan manusia, peralatan, atau instalasi listrik dari bahaya sengatan listrik ataupun arus dan tegangan lebih. Arus gangguan ini menimbulkan gradien tegangan diantara peralatan dengan peralatan, peralatan dengan tanah dan juga gradien tegangan pada permukaan tanah itu sendiri. Besarnya gradien tegangan pada permukaan tanah tergantung pada tahanan jenis tanah atau sesuai dengan struktur tanah tersebut(Sulaiman, 2012).

Sistem pentanahan yang baik harus memiliki nilai resistansi pentanahan yang rendah, berkisar 1Ω - 5Ω atau lebih rendah(PUIL, 2000). Semakin kecil nilai resistansi pentanahan, maka kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin besar sehingga arus gangguan yang mungkin terjadi tidak mengalir ke peralatan dan merusaknya. Dalam sistem pentanahan atau biasa disebut *grounding system*, jenis tanah sangat memengaruhi baik atau buruknya sistem tersebut. Hal ini dikarenakan tidak semua tanah memiliki nilai resistansi yang baik. Nilai resistansi pada tanah dipengaruhi oleh struktur dan kandungan dalam tanah tersebut. Selain itu, daerah di mana tanah itu berada juga memengaruhi struktur dan kandungan tanah tersebut. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan sekecil mungkin tidak cukup dilakukan dengan memasang pasak saja, karena selain sistem pentanahan, kandungan elektrolit pada tanah juga berpengaruh terhadap tahanan pentanahan(PUIL, 2000).

Nilai tahanan pentanahan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan ukuran elektroda, kedalaman penanaman elektroda, kadar air tanah, temperatur tanah, serta tahanan jenis tanah. Dari berbagai faktor tersebut, tahanan jenis tanah merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap besar-kecilnya nilai tahanan pentanahan. Semakin besar nilai tahanan jenis tanah, semakin besar pula nilai tahanan pentanahan yang dihasilkan. Oleh karena itu, kondisi tanah pada lokasi sistem pentanahan menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan.

Kondisi tanah pada lahan di sekitar Laboratorium Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana Kupang secara umum didominasi oleh tanah berbatu yang memiliki nilai tahanan jenis (resistivitas) relatif tinggi dibandingkan dengan jenis tanah yang lebih lembap dan kaya kandungan mineral. Meskipun demikian, pada dasarnya struktur tanah tidak selalu bersifat homogen, melainkan terdiri atas beberapa lapisan dengan karakteristik yang berbeda-beda. Pada kedalaman tertentu dapat ditemukan lapisan tanah yang memiliki nilai resistivitas lebih rendah dibandingkan lapisan di atasnya. Selain itu, kandungan air atau tingkat kelembapan tanah juga sangat memengaruhi nilai resistivitas tanah. Semakin tinggi kelembapan tanah, semakin tinggi pula konduktivitas tanah sehingga resistivitasnya akan menurun. Tingginya nilai resistivitas tanah pada lokasi penelitian menyebabkan sistem pentanahan yang menggunakan elektroda batang cenderung menghasilkan nilai tahanan pentanahan yang besar. Kondisi ini dapat berpotensi menghasilkan nilai tahanan yang relatif besar sehingga kurang efektif dalam menghasilkan arus gangguan ke tanah. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menurunkan resistivitas tanah di sekitar elektroda pentanahan agar diperoleh nilai tahanan pentanahan yang lebih rendah. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah penggunaan semen konduktif sebagai bahan aditif di sekitar elektroda pentanahan.

Semen konduktif merupakan semen berbahan dasar karbon yang akan mengeras bila dicampur dengan air, sehingga akan memiliki sifat yang permanen dan tidak mudah terkikis oleh air saat turun hujan. Selain itu, semen konduktif memiliki sifat nonkorosif sehingga dapat melindungi elektroda batang yang ditanam dan juga dapat membantu menjaga kelembapan tanah disekitar elektroda sehingga nilai tahanan pentanahan menjadi lebih stabil. Pada umumnya semen konduktif digunakan pada tanah yang memiliki nilai resistansi tinggi seperti tanah berbatu dan berpasir, tanah kering, pegunungan dan tanah beku dengan tujuan untuk pembedahan yang baik yang memiliki nilai resistansi yang cukup rendah dan dapat mengalirkan listrik dengan baik kedalam tanah (Negara et al., 2014).

Semen konduktif memiliki beberapa keunggulan yang memberikan manfaat dalam penerapan sistem pentanahan. Salah satu keunggulannya adalah kemampuan untuk meningkatkan konduktivitas di sekitar elektroda, sehingga dapat memperkecil hambatan kontak antara elektroda dan tanah. Kondisi ini menjadikan semen konduktif efektif dalam menurunkan nilai tahanan pentanahan pada sistem yang menggunakan elektroda batang. Semen konduktif tetap efektif meskipun kondisi tanah atau cuaca berubah, seperti kelembapan atau suhu ekstrem. Semen

konduktif juga berfungsi melindungi elektroda dari korosi, memperpanjang umur pakai sistem pentanahan, dan meningkatkan distribusi arus listrik yang dapat membantu efisiensi pada sistem pentanahan.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan perubahan treatment pada tanah dengan menggunakan semen konduktif sebagai indikator campuran tanah untuk menurunkan resistansi pentanahan yang lebih efektif dan seminim mungkin. Berdasarkan masalah diatas, maka pada penelitian ini mengambil judul “Pengaruh Penambahan Semen Konduktif Terhadap Nilai Tahanan Pentanahan Pada Elektroda Batang”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang tanpa penambahan semen konduktif?
2. Berapa nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang dengan penambahan semen konduktif?
3. Berapa persentase nilai pentanahan yang dapat direduksi setelah penambahan semen konduktif?

1.3 Batasan Masalah

Agar lebih efisien dalam melakukan penelitian, maka penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Hanya menganalisis nilai tahanan pentanahan pada elektroda batang dengan menggunakan semen konduktif.
2. Jenis tanah yang digunakan yaitu berdasarkan sampel tanah yang akan digunakan pada lokasi penelitian.
3. Elektroda pentanahan yang digunakan adalah elektroda batang (*rod*) tunggal yang terbuat dari tembaga dengan diameter elektroda 0,0105 m dan panjang elektroda disesuaikan berdasarkan kedalaman penanaman elektroda.
4. Kedalaman penanaman elektroda batang yaitu 0,3 m, 0,4 m dan 0,5 m dengan diameter lubang penanaman elektroda 15 cm.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan satu elektroda batang yang ditanam vertikal ke dalam tanah tanpa menggunakan semen konduktif.

2. Untuk mengetahui nilai tahanan pentanahan satu elektroda batang yang ditanam vertikal ke dalam tanah dengan penambahan semen konduktif.
3. Untuk mengetahui persentase nilai pentanahan yang dapat direduksi setelah penambahan semen konduktif.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu:

1. Bagi peneliti

Menambah pengetahuan tentang salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memperkecil tahanan pentanahan elektroda batang dengan bantuan zat aditif berupa semen konduktif serta menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat kelulusan.

2. Bagi Instansi

Dapat digunakan sebagai acuan untuk memperkaya teori-teori yang berkaitan dengan berbagai macam perlakuan terhadap tahanan pentanahan pada elektroda batang.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada Proposal Skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang menunjang penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang tempat dan waktu penelitian, serta metode yang akan digunakan dalam penulisan Tugas Akhir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi tentang lokasi penelitian yang menjadi studi kasus, analisis hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan tanpa semen konduktif dan dengan penambahan semen konduktif, analisis perhitungan nilai tahanan jenis tanah tanpa semen konduktif dan dengan penambahan semen konduktif, analisis perhitungan nilai tahanan pentanahan tanpa semen konduktif dan dengan penambahan semen konduktif, analisis perhitungan persentase nilai pentanahan yang dapat direduksi setelah penambahan semen konduktif.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Proses penulisan proposal ini dilakukan dengan menggali data dan informasi dari berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Data dan informasi dari penelitian terdahulu digunakan sebagai bahan perbandingan untuk melihat kekurangan dan kelebihan dari tiap penelitian. Selain dari hasil penelitian terdahulu, informasi juga didapat dari berbagai buku dan jurnal yang berkaitan dengan topik. Informasi-informasi tersebut digunakan untuk mendapatkan landasan teori sebelum melakukan analisis pengolahan data. Berikut penelitian terdahulu yang relevan dengan judul yang akan diajukan.

Penelitian pertama yang dilakukan oleh Aldeo Baferly Pai,dkk, melakukan perbaikan nilai resistansi pentanahan dengan menggunakan metode *driven rod* untuk menghitung nilai tahanan menggunakan beberapa batang elektroda. Hasil dari penelitian ini diperoleh bahwa jika menggunakan metode *driven rod* atau menancapkan satu batang elektroda ke tanah, maka nilainya jika menggunakan satu batang elektroda adalah 27.39Ω . Sedangkan jika menggunakan 2 batang elektroda, maka hasil yang diperoleh adalah 3.77Ω . Untuk dapat memenuhi standar maka area peletakan pada gardu distribusi untuk nilai efektif jumlah konduktor paralel adalah 15 buah batang elektroda yang ditancapkan menggunakan metode *driven rod* dan diperoleh hasil 0.645Ω (Pai et al., 2022)

Penelitian yang dilakukan oleh Erliza Yuniarti membahas tentang perlakuan terhadap elektroda pentanahan jenis *rod* yang terbuat dari tembaga dan baja dapat efektif dalam menurunkan

nilai resistansi tanah, dengan metode pengukuran 3 titik. Hasil dari penelitian ini yaitu pencampuran zat aditif kalsium oksida (CaO) seberat 10 kg pada tanah kerikil basah mengakibatkan kenaikan nilai resistansi tanah 547-745 Ω , dan nilai tahanan jenis tanah 749,06-1020,19 $\Omega\cdot\text{m}$ mendekati nilai dengan jenis tanah berkerikil kering, sebaliknya penambahan zat aditif gypsum ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) yang dapat menyerap air berhasil menurunkan nilai resistansi pentanahan menjadi 54,72-63.70 Ω dan merubah tahanan jenis tanah dari tanah kerikil basah menjadi jenis tanah ladang (Faisal, Erlisa Yuniarti, Abdul Majid, 2019).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tri Juniarti, dkk dilakukan upaya menurunkan resistansi pentanahan untuk mengetahui karakteristik penambahan bentonit, gypsum, dan garam untuk menurunkan resistansi pentanahan pada tanah gambut serta menemukan komposisi campuran paling efektif dari ketiga zat tersebut dalam menurunkan resistansi pentanahan. Hasil dari penelitian ini adalah nilai resistansi pentanahan awal sebelum penggunaan zat aditif sebesar 50,9 Ω . penggunaan bentonit 30%, gypsum 30%, garam 10% menjadi campuran paling efektif dengan resistansi yang didapat sebesar 9,09 Ω dan presentase laju penurunannya mencapai 82,14% (Juniardi et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Revis Kadja berupa soil treatment dengan penambahan arang, garam, dan bentonit yang dicampurkan ke tanah pada lubang elektroda yang ditanam. Kedalaman elektroda yang ditanam adalah 0,2 m, 0,4 m dan 0,6 m. Hasil dari penelitian ini adalah nilai pentanahan sebelum penambahan garam adalah 821,33 Ω , setelah penambahan bentonit adalah 198,8 Ω . Sedangkan sebelum penambahan bentonit sebesar 821,33 Ω sesudah penambahan bentonit sebesar 772,0 Ω . Berdasarkan data pengukuran resistansi pentanahan, penambahan zat aditif menunjukkan bahwa bentonit lebih efektif dalam penurunan nilai tahanan tanah. Hasil perhitungan penambahan arang penurunannya adalah 73,09% pada penambahan arang presentase penurunannya adalah 75,8%, sedangkan pada penambahan bentonit presentase penurunannya adalah 91,2% (Sukarny et al., n.d.).

Penelitian yang dilakukan oleh I.M. Yulistya Negara dkk. menggunakan metode pembedaan dengan elektroda batang serta kombinasi peletakan semen konduktif untuk mengetahui penurunan resistansi pembedaan sebelum dan sesudah penambahan semen konduktif di sekitar elektroda batang. Hasil dari penelitian ini adalah bahwa sebelum pemberian semen konduktif, nilai resistansi pentanahan adalah 49 Ω , dan setelah pemberian semen konduktif dengan kombinasi peletakan semen konduktif, posisi paling efektif dalam menurunkan resistansi

pentanahan adalah posisi 1 dengan nilai resistansi pentanahan 18,3 Ω dan posisi 2 dengan nilai resistansi pentanahan 20,5 Ω (Negara et al., 2014).

Penelitian yang dilakukan oleh Miduk Purba menggunakan terobosan baru mengenai metode penurunan nilai tahanan pentanahan dengan semen konduktif yang terbuat dari arang yang akan dicampur dengan semen konduktif (semen konduktif Kharcoal). Hasil dari penelitian ini pada NR 11 trafo 401 nilai tahanan pembumian 33,6 Ω , setelah menggunakan semen konduktif turun menjadi 14,42 Ω dengan persentase 42,91%. Pada NR 11 trafo 301, nilai tahanan pembumian tanpa semen konduktif sebesar 53,6 Ω , setelah menggunakan semen konduktif, mengalami penurunan nilai tahanan pembumian menjadi 14,26 Ω dengan persentase sebesar 26,60%. Pada NR 11 trafo 204, nilai tahanan pembumian tanpa semen konduktif 26 Ω setelah menggunakan semen konduktif mengalami penurunan nilai pembumian menjadi 5,08 Ω dengan persentase 19,54%. Dengan adanya penambahan semen konduktif *kharcoal* nilai tahanan pembumian turun sebesar 19,54%-42,91% (Miduk Purba, 2019).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah suatu tindakan dasar yang sangat penting untuk menjamin keamanan dan keandalan dari operasi sistem tenaga listrik serta memastikan keselamatan manusia dari gangguan yang terjadi pada jaringan listrik dan peralatan. Dalam penerapannya, tidak semua sistem jaringan listrik dihubungkan langsung dengan sistem pentanahan. Sistem pentanahan digunakan untuk menyalurkan arus gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan seperti hubung singkat, petir, maupun arus bocor, sehingga sistem kelistrikan tersebut aman bagi peralatan maupun bagi manusia. Semakin kecil nilai suatu tahanan, maka pentanahannya akan semakin baik.

Berdasarkan besarnya arus gangguan dan kenaikan tegangan fasa yang tidak terganggu, impedansi pentanahan netral dapat diatur. Pemilihan impedansi harus dilakukan secara analisis nilai Z_n = besar, I_f = kecil dan Δ = besar, maka sistem pentanahan untuk memperbaiki:

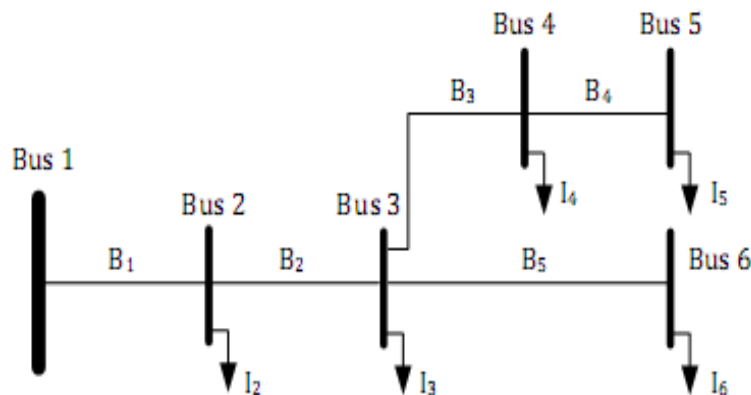
1. Arus gangguan hubung singkat yang tidak terlalu besar, sehingga bahaya yang ditimbulkan tidak berlebihan, namun sensitivitas rele proteksi masih dapat dipertahankan.
2. Tegangan lebih yang terjadi pada fasa yang tidak terganggu tidak terlalu besar sehingga batas isolasi peralatan dapat dipertahankan atau dikurangi. Stabilitas dan kontinuitas penyaluran beban dapat terjamin.

Perencanaan pentanahan memiliki beberapa standar yang berlaku, diantaranya adalah:

1. Tahanan pentanahan harus memenuhi persyaratan yang diinginkan untuk keperluan pemakaian.
2. Elektroda yang ditanam dalam tanah merupakan bahan konduktor yang baik, tahan terhadap korosi dan memiliki daya tahan yang kuat.
3. Elektroda harus mempunyai kontak yang baik dengan tanah yang ada di sekelilingnya.
4. Tahanan pentanahan harus baik terhadap berbagai musim.
5. Biaya pemasangannya pun serendah mungkin.

Berdasarkan pedoman pengawasan instalasi listrik tujuan sistem pentanahan adalah(PUIL, 2000):

1. Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.
2. Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor atau penghantar dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplai tegangan dari konduktor tersebut.



Gambar 2. 1 Sistem Pentanahan

2.2.2 Karakteristik Sistem Pentanahan Yang Efektif

Karakteristik sistem pentanahan yang efektif ialah:

1. Terencana dengan baik, semua koneksi yang terdapat pada sistem merupakan koneksi yang sudah direncanakan sebelumnya dengan kaidah-kaidah tertentu.
2. Verifikasi secara visual dapat dilakukan.
3. Menghindari gangguan yang terjadi pada arus listrik dari perangkat.

4. Semua komponen metal harus ditahan atau diikat oleh sistem pentanahan dengan tujuan untuk meminimalkan arus listrik melalui material yang bersifat konduktif pada potensial listrik yang sama (Kasim et al., 2016).

2.3 Jenis-Jenis Sistem Pentanahan

2.3.1 Sistem Pentanahan Titik Netral (Netral Grounding System)

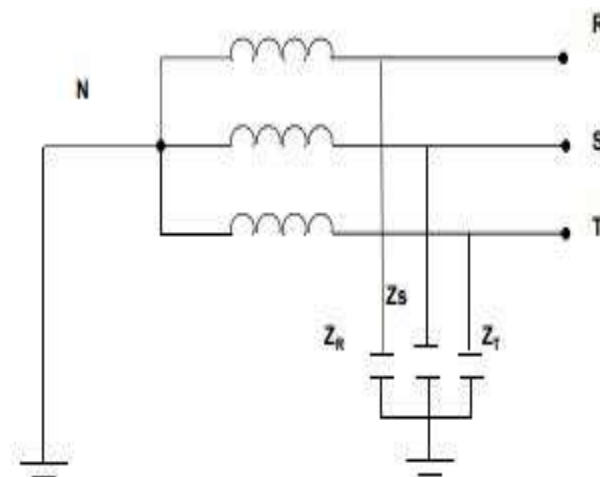
Sistem dengan titik netral ditanahkan adalah suatu sistem titik netral dari sistem tersebut sengaja dihubungkan ke tanah, baik melalui impedansi maupun secara langsung. Adapun tujuan pentanahan titik netral sebagai berikut:

1. Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem tersebut.
2. Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
3. Meningkatkan keandalan (reability) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
4. Mengurangi atau membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh percikan bunga api yang berulang (*restrike ground fault*).
5. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi dan memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan (Yuniarti, 2016).

Metode-metode yang digunakan pentanahan netral dalam sistem tenaga listrik terdiri dari:

1. Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/*Solid Grounding*)

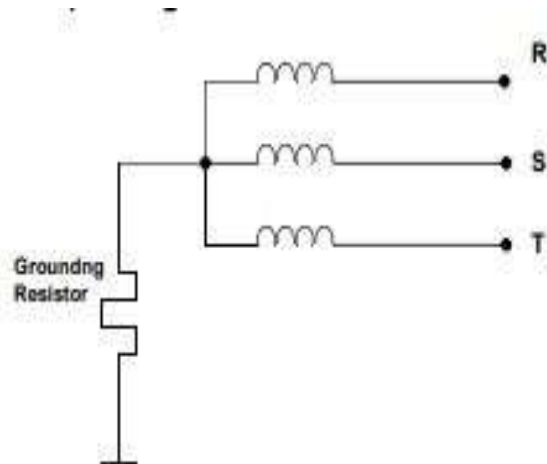
Pada sistem yang ditanahkan tanpa impedansi, gangguan yang terjadi pada sistem pentanahan mengakibatkan gangguan saluran pemadaman (*line outage*), yaitu gangguan yang diisolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuannya adalah untuk membatasi tegangan fasa-fasa yang tidak terganggu saat terjadi gangguan.



Gambar 2. 2 Sistem Penumian Solid

2. Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan (*Resistance Grounding*)

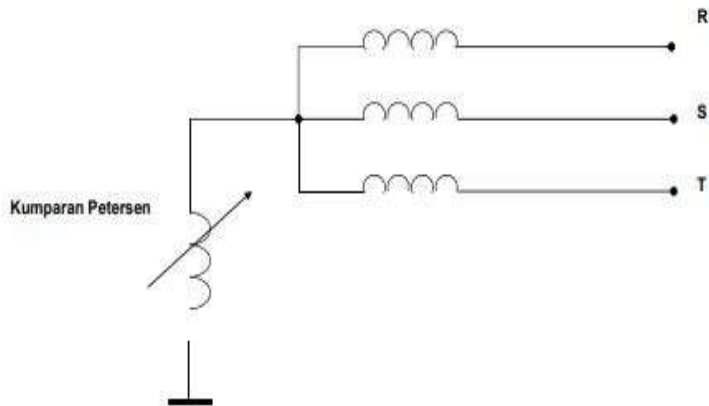
Pentanahan ini adalah untuk membatasi besar arus gangguan ketanah antara 10% sampai 25% dari arus gangguan 3 fasa. Batas paling bawah adalah batas minimum untuk bekerjanya relay tanah, sedangkan batas atas adalah panas atau hilangnya waktu yang diakibatkan oleh terjadinya gangguan.



Gambar 2. 3 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral melalui Tahanan (Resistor)

3. Pentanahan Titik Netral Melalui Kumputan Petersen (*Resonant Grounding*)

Pentanahan dengan kumputan petersen adalah menghubungkan titik netral trafo daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat diubah-ubah. Kumputan petersen biasanya digunakan dalam sistem pentanahan 3 fasa untuk membatasi arus busur selama terjadinya gangguan tanah. Pada hakekatnya tujuan dari pentanahan dengan kumputan petersen adalah untuk melindungi sistem dari gangguan hubung singkat fasa ketanah yang bersifat sementara (*temporary fault*), yaitu dengan membuat arus gangguan sekecil-kecilnya dan pemadaman busur api yang dapat terjadi dengan sendirinya.



Gambar 2. 4 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral dengan Kumparan Petersen

4. Pentanahan Titik Netral Melalui Reaktor (*Reactor Grounding*)

Suatu sistem dapat dikatakan tahanan reaksi apabila suatu impedansi yang lebih induktif, disisipkan dalam titik netral trafo dengan tanah. Metode ini mempunyai keuntungan dari pentanahan tahanan yaitu:

- a. Untuk arus maksimum peralatan reaktor lebih kecil dari resistor.
- b. Energi yang disisipkan dalam reaktor lebih kecil. Dengan ketiga tegangan fasa dipasang seimbang, arus dari masing-masing impedansi akan menjadi sama dan saling berbeda fasa satu sama lainnya. Secara konsekuen tidak ada perbedaan potensial dari titik netral suplai trafo tenaga.

2.3.2 Sistem Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan adalah tindakan pengaman dengan cara menghubungkan badan peralatan atau instalasi yang diproteksi dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak terjadi gangguan sentuh yang tinggi sampai bekerjanya alat pengaman arus lebih. Pentanahan ini berbeda dengan pentanahan netral sistem tenaga. Yang dimaksud dengan bagian dari peralatan-peralatan ini adalah bagian-bagian mesin yang secara normal tidak dilalui arus listrik namun dalam kondisi terjadinya gangguan dimungkinkan untuk dilalui arus listrik. Sistem pentanahan pada peralatan umumnya menggunakan dua macam sistem pentanahan yaitu sistem grid (horizontal) dan sistem rod (vertikal). Sistem pentanahan grid adalah menanamkan batang-batang elektroda sejajar dengan permukaan tanah, hal ini merupakan usaha untuk meratakan tegangan yang timbul. Sedangkan sistem rod adalah menanamkan batang-batang elektroda tegak lurus

2.4 Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam kedalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Dengan demikian, kontak langsung tersebut bertujuan agar dapat menyalurkan arus sebaik mungkin apabila terjadi gangguan. Elektroda pentanahan ini berfungsi untuk mempertahankan tegangan tanah pada konduktor yang dihubungkan padanya dan untuk menyerap ke tanah arus yang dihantarkan ke elektroda tersebut.

Pada umumnya tembaga digunakan sebagai konduktor (elektroda) pentanahan, karena tembaga memiliki sifat yang memenuhi syarat-syarat diatas. Tahanan tanah disekitar elektroda tergantung pada tahanan jenis tanah. Pada sistem pentanahan terdapat beberapa komponen tahanan yang berpengaruh terhadap besarnya, dimana ketiga komponen tersebut mempunyai hubungan linier dalam membentuk nilai tahanan pentanahan yaitu:

1. Tahanan elektroda pentanahan beserta sambungan-sambungan padanya.
2. Tahanan kontak antara elektroda pentanahan dengan tanah disekitarnya.
3. Tahanan tanah disekitar elektroda pentanahan.

Dari ketiga komponen tahanan tersebut, tahanan tanah di sekitar elektroda merupakan besaran yang paling memengaruhi tahanan pentanahan dibandingkan tahanan elektroda dan tahanan kontak. Elektroda pentanahan yang terbuat dari logam mempunyai nilai tahanan yang cukup kecil jika ukurannya memadai. Demikian pula, tahanan kontak ke tanah dapat diabaikan apabila permukaan elektroda bebas dari cat serta tempat kontak cukup padat sehingga elektroda dapat dipasang dengan kuat. Metode-metode yang digunakan dalam mereduksi nilai tahanan untuk elektroda yaitu:

- a. Penambahan jumlah batang elektroda
- b. Memperpanjang ukuran batang elektroda
- c. Membuat perlakuan terhadap tanah (soil treatment).

Elektroda pentanahan bertujuan untuk mengalirkan arus gangguan ke dalam tanah kontak secara langsung dengan tahanan pentanahan. Beberapa faktor yang memengaruhi kinerja batang konduktor adalah ukuran, dimensi, dan bahan dari elektroda tersebut, karena pada dasarnya pembumian dengan elektroda batang perlu memperhatikan panjang dan ukuran elektroda agar dalam melakukan instalasi pentanahan dapat diperoleh hasil dan nilai yang baik, meskipun pengaruh ukuran diameter terhadap resistansi pembumiannya adalah kecil, hanya sekitar 10%.

Ukuran dimensi standar dari elektroda batang yang pada umumnya dipakai pada sistem pentanahan adalah sebagai berikut(IEE, 1974):

Tabel 2. 1 Ukuran Dimensi Standar Elektroda Batang Pada Sistem Pentanahan(IEE, 1974Std 80-198)

No	Elektroda Batang				
	Diameter (inch)	Panjang (ft)	Diameter (mm)	Panjang (m)	Ukuran Klem (mm^2)
1.	3/8	5-40	9,53	1,5-12,2	6-10
2.	1/2		12,7		6-16
3.	5/8		15,88		6-16
4.	3/4		19,05		25-50
5.	1		25,4		25-50

Tabel 2. 2 Luas Penampang Minimum Elektroda Batang Pembumian Standar Berdasarkan Bahan (PUIL, 2000)

Jenis elektroda	Bahan		
	Baja berlapis seng dengan proses Pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
Elektroda batang	Pipa baja berdiameter 1 inchi Baja profil L 65x65x7 U 6½ T 6 X 50x3 atau batang profil lain yang setara	Baja bulat Berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 2,5	Pipa tembaga Luas penampang: 50 mm^2 Tebal : 2mm hantaran pilin : (bukan kawat halus) penampangnya:35 mm^2

Jika tanah sangat korosif, sebaiknya digunakan ukuran-ukuran minimum 1,5 kali ukuran yang diberikan pada tabel di atas. Jika elektroda yang dimaksud untuk mengatur gradient tegangan, luas penampang minimum yang boleh digunakan adalah sebagai berikut:

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

Adapun beberapa hal yang penting dan perlu diperhatikan dalam pemilihan elektroda batang dalam sistem pentanahan yang baik adalah sebagai berikut:

1. Memiliki daya hantar jenis yang cukup baik sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang sangat membahayakan.
2. Tahan terhadap peleburan dari keburukan suatu sambungan sistem kelistrikan, walaupun konduktor tersebut akan terkena magnitude arus gangguan dalam waktu yang cukup lama.
3. Tahan terhadap korosi.
4. Memiliki kekuatan mekanis yang sangat kuat, terutama bila digunakan di daerah yang tidak terlindung dari kerusakan fisik.

Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil, diperlukan elektroda pentanahan yang tepat. Selain ditentukan oleh luas permukaan elektroda pentanahan dan tahanan jenis tanah, tahanan pentanahan yang diperoleh juga ditentukan oleh jenis dan bentuk elektroda pentanahannya. Untuk mencari nilai tahanan elektroda digunakan rumus dibawah ini:

$$R_e = \frac{V}{I} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

R_e = tahanan pentanahan (ohm)

V = tegangan (volt)

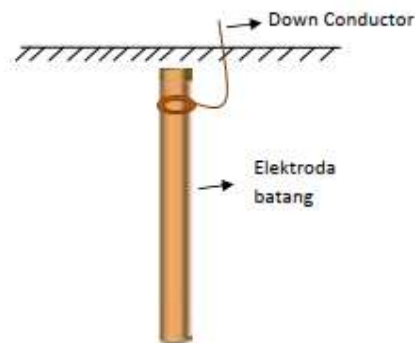
I = arus (ampere)

Beberapa bentuk elektroda pentanahan yang digunakan antara lain: elektroda batang, elektroda pita, dan elektroda plat.

2.4.1 Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda berbentuk pipa atau batang yang ditanamkan tegak lurus ke dalam tanah. Panjang elektroda yang digunakan disesuaikan dengan kondisi lapangan yang dibutuhkan. Jika nilai tahanan pentanahan yang diinginkan belum tercapai dengan satu elektroda

batang, maka tahanan pentanahan dapat dikurangi dengan menambah jumlah elektroda yang ditanam dan menghubungkannya secara paralel.



Gambar 2. 5 Pentanahan dengan elektroda batang

Rumus untuk mencari nilai tahanan pentanahan elektroda batang tunggal adalah(Sunarhati, 2017:34-35):

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \left(\frac{4L}{d} \right) - 1 \right] \dots\dots\dots (2.2)$$

Sedangkan untuk mencari nilai tahanan pentanahan dua batang elektroda adalah(Sunarhati, 2017:34-35):

$$R = \frac{\rho}{4\pi L} \times \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{s 12L^4} \right) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

R = tahanan pentanahan

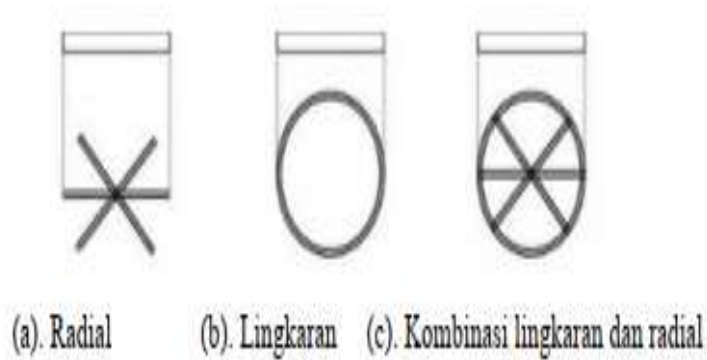
ρ = tahanan jenis tanah

L = panjang elektroda yang ditanam

d = jari-jari elektroda

2.4.2 Elektroda Pita

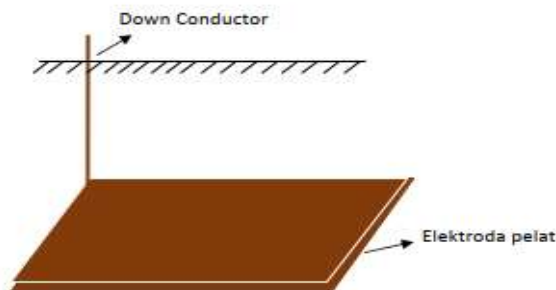
Elektroda pita merupakan suatu jenis elektroda pentanahan yang biasanya digunakan untuk daerah yang memiliki tahanan jenis tanah yang rendah atau cocok pada daerah yang jarang mengalami kekeringan. Elektroda pita biasanya terbuat dari bahan logam yang dipilin. Elektroda ini dapat ditanam pada kedalaman antara 0,5 hingga 1 meter dari permukaan tanah, tergantung pada kondisi dan jenis tanah yang ada. Pemasangan elektroda pita dapat dilakukan dalam bentuk memanjang, radial, melingkar, atau kombinasi dari lingkaran dan radial.



Gambar 2. 6 Pentanahan Dengan Elektroda Pita

2.4.3 Elektroda Plat

Elektroda plat terbuat dari lempengan logam yang berbentuk persegi atau persegi panjang. Elektroda plat didalam tanah secara tegak lurus sekurang-kurangnya sedalam 1,5 meter. Luas plat ditentukan dengan besarnya tahanan pentanahan yang diperlukan. Penggunaan dari elektroda plat ini sebenarnya kurang ekonomis untuk mencapai tahanan pentanahan yang sama dengan elektroda batang, elektroda plat memerlukan lebih banyak bahan apabila dibandingkan dengan elektroda pita atau elektroda batang (Jamaaluddin & Sumarno, 2017).



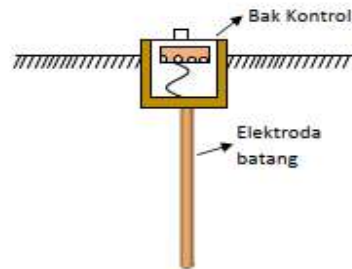
Gambar 2. 7 Pentanahan Dengan Elektroda Plat

2.5 Model Penanaman Elektroda

2.5.1 Sistem Pentanahan Driven Rod

Sistem pentanahan *driven rod* merupakan suatu sistem pentanahan dengan cara menanamkan suatu elektroda batang (*rod*) yang tegak lurus dengan tanah, di mana arus gangguan akan mengalir dari elektroda tersebut ke tanah di sekitarnya. Sistem *driven rod* sering digunakan untuk pentanahan karena memiliki bentuk yang praktis sehingga tidak di perlukan lahan yang cukup luas serta memiliki harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan sistem pentanahan

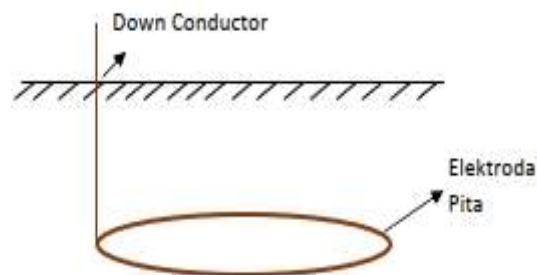
counter poise dan *grid*. Diameter sari batang adalah $\frac{3}{4}$ inci sampai 2 inci dan panjang 3m-15 m (IEE Systems, 1974).



Gambar 2. 8 Sistem Pentanahan Driven Rod

2.5.2 Sistem Pentanahan Counterpoise

Sistem pentanahan dengan konduktor beberapa puluh centimeter yang ditanam dalam tanah dengan posisi sejajar dengan permukaan tanah dan direntangkan menjauhi sistem yang dilindungi disebut dengan pentanahan *counterpoise*. *Counterpoise* dipergunakan apabila impedansi pentanahan dengan *driven rod* masih besar, hal ini dapat disebabkan karena tahanan jenis tanah yang tinggi.

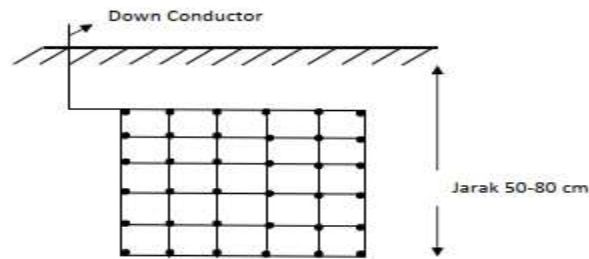


Gambar 2. 9 Sistem Pentanahan Counterpoise

2.5.3 Sistem Pentanahan Mesh atau Grid

Pentanahan dengan *mesh* atau *grid* adalah cara pentanahan dengan jalan memasang kawat konduktor elektroda membujur dan melintang dibawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan disetiap tempat sehingga membentuk jala (mesh/grid). Sistem pentanahan mesh/grid biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan mendapatkan nilai resistansi tanah yang sangat kecil (kurang dari 1Ω). Pentanahan *grid* biasanya digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi

pentanahan yang kecil dan distribusi gradien tegangan yang lebih merata di sekitar pentanahan sehingga manusia yang ada disekitarnya lebih aman dari bahaya tegangan langkah.



Gambar 2. 10 Sistem Pentanahan Mesh atau Grid

2.6 Faktor Penyebab Tegangan Permukaan Tanah

2.6.1 Pengaruh Uap Lembab Dalam Tanah

Kandungan uap lembab dalam tanah merupakan faktor penentu nilai tegangan tanah. Variasi dari perubahan uap lembab akan membuat perbedaan yang menonjol dalam efektivitas hubungan elektroda pentanahan dengan tanah. Hal ini terlihat jelas pada kandungan uap lembab bawah tanah 20%. Nilai diatas 20% resistivitas tanah tidak banyak terpengaruh, tetapi dibawah 20% resistivitas tanah meningkat drastis dengan penurunan kandungan uap lembab. Elektroda yang dipasang di atas dasar batu biasanya memberikan kualitas pentanahan yang baik. Hal ini disebabkan oleh dasar-dasar batu yang sering tidak dapat ditembus oleh air dan menyimpan uap lembab sehingga memberikan kandungan uap lembab yang tinggi.

2.6.2 Pengaruh Tahanan Jenis Tanah

Tahanan tanah merupakan kunci utama yang menentukan tahanan elektroda dan kedalaman penanaman elektroda, beberapa elektroda harus ditanam agar diperoleh tahanan yang rendah. Tahanan tanah bervariasi diberbagai tempat dan cenderung berubah menurut cuaca. Tahanan tanah ditentukan juga oleh kandungan elektrolit yang ada didalamnya, kandungan air, mineral-mineral dan garam. Tanah yang kering biasanya mempunyai tahanan tanah yang tinggi, namun demikian tanah yang basah juga dapat mempunyai tahanan yang tinggi apabila tidak mengandung garam yang dapat larut. Tahanan tanah berkaitan langsung dengan kandungan air dan suhu, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa tahanan suatu sistem pentanahan akan berubah sesuai dengan perubahan iklim setiap tahunnya. Untuk memperoleh kestabilan tahanan pentanahan, elektroda pentanahan dipasang pada kedalaman optimal mencapai tingkat kandungan air yang tetap.

2.6.3 Pengaruh Temperatur/Suhu

Temperatur akan berpengaruh langsung terhadap resistivitas tanah, dengan demikian akan berpengaruh juga terhadap performa tegangan permukaan tanah. Pada musim dingin struktur fisik tanah menjadi sangat keras, dan tanah membeku pada kedalaman tertentu. Air di dalam tanah membeku pada saat suhu di bawah 0 derajat dan hal ini menyebabkan peningkatan yang besar dalam koefisien temperatur resistivitas tanah. Koefisien ini negatif, dan pada saat temperatur menurun, resistivitas naik dan resistansi hubungan tanah menjadi tinggi. Pengaruh temperature terhadap resistivitas tanah dijelaskan pada tabel dibawah ini:

Tabel 2. 3 Efek Temperature Terhadap Resistivitas Tanah

Temperature (°c)	Resistivitas (ohm)
-5	70.000
0	30.000
0	10.000
10	8000
20	7000
30	6000
40	5000
50	4000

2.6.4 Pengaruh Iklim

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat dari pergantian musim, pembedaan dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembedaan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Kadang kala penanaman elektroda pembedaan memungkinkan kelembapan dan temperature bervariasi sehingga harga tahanan jenis tanah harus stabil dalam keadaan yang paling buruk yaitu tanah kering dan dingin. Proses pengaliran arus listrik dibawah tanah sebagian besar akibat dari proses elektrolisis, oleh karena itu air didalam 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 kelembapan tanah, maka konduktivitas tanah akan semakin besar sehingga tahanan tanah menjadi semakin kecil.

2.6.5 Perubahan Resistivitas Tanah

Tanah merupakan kumpulan-kumpulan dari bagian-bagian yang padat dan tidak terikat antara satu dengan yang lain (di antaranya mungkin material organik) dan rongga-rongga di antara material tersebut berisi udara dan air. Proses fisis antara lain berupa erosi tiupan angin, pengikisan oleh air dan *gletsyer*, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam batuan, sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asal. Salah satu penyebabnya adalah air yang mengandung asam, alkali, oksigen, dan karbon dioksida. (Sudaryono, 2016)

Resistivitas tanah sangat bergantung pada material pendukung tanah, temperatur dan kelembapan. Daerah dengan struktur tanah berpasir, berbatu dan cenderung berstruktur tanah padas mempunyai resistivitas yang tinggi. Kondisi tanah yang demikian diakibatkan oleh kerusakan yang terjadi di permukaan tanah, berkurangnya tumbuh-tumbuhan yang dapat mengikat air, dan mengakibatkan kondisi tanah menjadi tandus serta berkurangnya kelembapan tanah.

2.6.6 Korosi

Komponen sistem pentanahan dipasang diatas dan dibawah permukaan tanah, keduanya menghadapi karakteristik lingkungan yang berlainan. Bagian yang berada diatas permukaan tanah, asap dan partikel debu dari proses industri serta partikel yang terlarut yang terkandung dalam air hujan akan mengakibatkan korosi pada konduktor. Bagian dibawah tanah, kondisi tanah basah yang mengandung materi alamiah, bahan-bahan kimia yang terkontaminasi didalamnya juga dapat mengakibatkan korosi.

Secara umum terdapat dua penyebab terjadinya korosi yaitu:

1. Korosi bimetal (*bimetallic corrosion*)

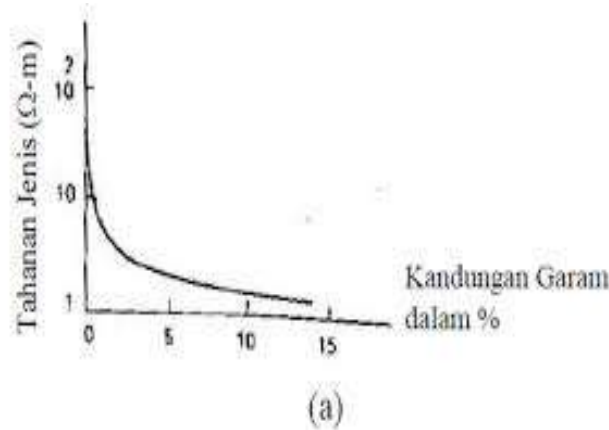
Bimetallic corrosion atau galvanic adalah jenis korosi yang terjadi ketika dua macam logam yang berbeda berkontak secara langsung dalam media korosif. Mekanisme korosi ini terjadi karena proses elektro kimiawi dua macam metal yang berbeda potensial dihubungkan langsung didalam elektrolit sama.

2. Korosi kimia (*chemical corrosion*)

Berdasarkan skala pH, kondisi tanah dapat dibedakan menjadi kondisi asam, basa dan netral. Korosi kimia akan terjadi pada tanah asam maupun basa. Kecepatan korosi dipengaruhi oleh daya tahan logam, jika logam bersifat rentan maka akan lebih cepat terkorosi.

2.6.7 Pengaruh Kadar Garam

Untuk memperkecil tahanan jenis tanah dari pengaruh musim terhadap perubahan jenis tanah dilakukan dengan cara memberikan sodium, calcium clorida dan sodium carbonat. Hubungan kadar garam dan tahanan jenis tanah dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



Gambar 2. 11 Grafik Hubungan Kadar Garam dan Tahanan Jenis Tanah

2.7 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pentanahan dan kapasitansi disekelilingnya adalah tahanan jenis tanah (ρ). Resistivitas tanah/tahanan jenis tanah dapat diketahui dengan menggunakan metode empat titik, yaitu dengan menyusun empat buah elektroda batang pada satu garis dengan jarak yang sama antara elektroda batang yang satu dengan elektroda batang yang lainnya.

Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, dapat bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis tanah.

Struktur dan karakteristik tanah merupakan salah satu faktor mutlak karena mempunyai kaitan erat dengan perencanaan sistem yang akan digunakan. Nilai tahanan jenis tanah harganya bermacam-macam, tergantung pada komposisi tanah. Batasan atau pengelompokan tahanan jenis dari berbagai macam jenis tanah pada kedalaman tertentu tergantung pada beberapa hal antara lain pengaruh temperatur, pengaruh kelembapan, dan pengaruh kandungan kimia. Tahanan jenis tanah sangat menentukan tahanan pentanahan dari elektroda-elektroda pentanahan. Tahanan jenis tanah diberikan dalam satuan ohm-meter. Tidak semua tanah memiliki nilai tahanan jenis yang baik untuk suatu sistem pentanahan. Hal ini dipengaruhi oleh kerapatan serta kontaminasi yang dimiliki

oleh tanah tersebut serta tempat dan kondisi di mana tanah itu berada. Nilai tahanan pentanahan untuk beberapa jenis tanah berbeda. Hal ini dikarenakan struktur tanah yang berbeda antara satu jenis tanah dengan jenis tanah yang lain. Berikut adalah tabel dari beberapa jenis tanah serta perkiraan nilai tahanan jenis tanahnya sebagai berikut (PUIL, 2000):

Tabel 2. 4 Jenis Tanah Serta Perkiraan Nilai Tahanan Jenis Tanah

No.	Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (ohm-meter)
1.	Tanah rawa	30
2.	Tanah liat	100
3.	Pasir basah	200
4.	Kerikil basah	500
5.	Tanah berbatu	3000
6.	Pasir dan batu kerikil kering	10000

Nilai tahanan jenis tanah (pada tabel diatas) adalah perkiraan nilai tahanan jenis berbagai tanah. Berbagai macam penelitian yang dilakukan dari waktu ke waktu yang mengukur nilai tahanan jenis (*resistivitas*) berbagai jenis tanah baik melalui pengambilan sampel dan mengukurnya dalam penelitian khusus maupun dengan memungkinkan untuk memberikan hasil yang akurat. Sangat sulit untuk dapat memastikan bahwa sampel yang diambil dari tanah dalam kondisi yang sama ketika diukur sebagaimana tanah disekitarnya.

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai tahanan jenis tanah yaitu:

a. Komposisi zat-zat kimia dalam tanah

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang rendah karena disebabkan oleh garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dan masih terdapat larutan garam.

b. Kandungan kadar air tanah (kelembapan tanah)

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah (ρ) terutama kandungan air tanah sampai 20%.

c. Temperatur tanah

Temperatur bumi pada kedalaman 1,5 meter biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan bumi. Bagi negara tropis seperti Indonesia, perbedaan temperatur selama setahun tidak terlalu signifikan, sehingga faktor temperatur dapat dikatakan tidak ada pengaruhnya.

Untuk mengetahui pengaruh nilai resistansi elektroda batang terhadap resistansi pentanahan, dilakukan perhitungan resistansi elektroda batang tegak lurus dengan tanah dengan persamaan sebagai berikut (Tamma et al., 2017):

$$\rho = \frac{2\pi LR}{\left(\left(\ln \frac{4L}{d}\right) - 1\right)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

ρ = tahanan jenis tanah (ohm-meter)

R = tahanan elektroda ukur (ohm)

L = panjang elektroda (m)

ln = logaritma alami

d = diameter elektroda (m)

Nilai resistivitas tahanan jenis tanah dapat ditentukan berdasarkan parameter yang sudah didapatkan.

2.8 Semen Konduktif

Metode umum yang digunakan untuk menurunkan tegangan permukaan tanah adalah dengan menurunkan tahanan jenis tanah, karena tegangan berbanding terbalik dengan tahanan. Ada beberapa zat aditif yang digunakan untuk menurunkan tahanan jenis tanah, salah satunya adalah dengan penambahan semen konduktif.

Semen konduktif merujuk pada semen yang memiliki sifat menghantarkan listrik. Pada umumnya, semen bukanlah material penghantar listrik, melainkan lebih sebagai isolator. Namun, dalam penelitian dan aplikasi tertentu, semen bisa dimodifikasi dengan menambahkan material konduktif seperti serat karbon, abu terbang, atau graphene, sehingga ia menjadi konduktif.

Semen konduktif juga dikenal sebagai semen grounding atau semen grounding konduktif adalah bahan pengurukan atau *backfill* yang meningkatkan konduktivitas tanah disekitar elektroda batang dan sistem pembumian kisi-kisi. Pada umumnya semen konduktif digunakan pada kondisi dengan resistansi tinggi termaksud berbatu dan berpasir tanah, serta medan kering, pegunungan, dan tanah beku agar resistansi menurun untuk menciptakan sistem pentanahan yang handal. Sistem

pentanahan yang handal akan memberikan jalan impedansi yang cukup untuk mengalirkan arus ke tanah. Semen konduktif memiliki beberapa kelebihan yang sangat menguntungkan bagi sistem pentanahan diantaranya adalah (Negara et al., 2014):

1. Konduktivitas; listrik yang stabil
2. Terbuat dari material yang memiliki efisiensi yang sangat tinggi untuk menurunkan resistansi
3. Memiliki sifat permanen, tidak tergerus oleh aliran air tanah dan hujan
4. Bersifat non korosif, sangat baik ketahanannya terhadap korosi
5. Ramah lingkungan, tidak menyebabkan pencemaran air tanah

Semen konduktif merupakan jenis semen khusus yang dirancang untuk digunakan dalam sistem grounding atau sistem pbumian pada instalasi listrik. Semen konduktif merupakan semen yang berbahan dasar karbon (C) dan mineral tambang lainnya yang memiliki tahanan jenis yang rendah dan juga stabil. Karena berbahan dasar karbon, semen konduktif memiliki sifat mengikat air dan mempertahankan kelembapan area disekitarnya. Hal inilah yang membuat semen konduktif diyakini mampu menurunkan tahanan jenis tanah. Perbedaan semen konduktif dengan semen biasa adalah bahwa semen konduktif mengandung bahan tambahan yang meningkatkan konduktivitas listrik, sehingga memungkinkan arus listrik untuk mengalir lebih mudah melalui campuran semen dan tanah disekitarnya.

Semen konduktif menyediakan penambahan elektroda, keunggulan dari semen konduktif adalah tidak menyusut, mengering, ataupun mengubah resistivitas dengan mengubah unsur kelembapan tanah. Semen yang menggunakan material lain, seperti bentonit, kemungkinan akan retak dengan demikian membuka batang yang telah terbungkus atau terjadinya korosi terhadap kabel (Hallmark, 2000)

Beberapa bahan yang umumnya ditambahkan kedalam semen konduktif untuk meningkatkan konduktivitasnya yaitu:

- a. Bahan pengisi konduktif: serbuk tembaga, grafit, karbon, atau logam lainnya dapat ditambahkan kedalam campuran semen untuk meningkatkan konduktivitasnya.
- b. Bahan penetrasi: bahan-bahan kimia atau surfaktan tertentu dapat digunakan untuk memperbaiki penetrasi campuran semen kedalam tanah, sehingga meningkatkan kontak listrik antara semen dan tanah disekitarnya.



Gambar 2. 12 Semen Konduktif

Untuk menghitung laju penurunan nilai tahanan tanah setelah penambahan zat aditif dapat menggunakan rumus dibawah ini (Juniardi et al., 2021):

Laju penurunan tahanan pentanahan (%) =

$$\% \text{ Reduksi} = \frac{R_1 - R_2}{R_1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

R1 = resistansi pentanahan sebelum penerapan *soil treatment*.

R2 = resistansi pentanahan sesudah penerapan *soil treatment*.

2.9 Alat Ukur Earth Tester

Earth tester adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur nilai resistansi dari grounding. *Earth Tester* ini terdiri dari suatu transistor pengukur sumber daya dan sistem galvanometer AC. Sistem pengukuran menggunakan alat ukur *earth resistance tester*, alat ukur ini berfungsi untuk melakukan pengukuran pentanahan atau *grounding*. Nilai tahanan pentanahan yang terukur dengan kemampuan mengukur sampai 1999Ω.

Berikut bentuk fisik dari alat ukur *earth tester* dengan keterangan sebagai berikut:

1. Nomor 1 menunjukkan layar LCD penampil hasil pengukuran
2. Nomor 2 menunjukkan tombol untuk mengunci hasil pengukuran. Saat pengukuran berlangsung, tombol tersebut ditekan lalu diputar keposisi lock.
3. Nomor 3 menunjukkan kenop pemilih ukur. Ada tiga macam pengaturan, yaitu untuk pengukuran resistansi, tegangan dan mematikan alat ukur .
4. Nomor 4 menunjukkan rentang pengukuran resistansi yang terdiri dari 2 KΩ ,200 KΩ, dan 20 Ω.
5. Nomor 5 menunjukkan pengukuran tegangan pentanahan (*earth voltage*)

6. Nomor 6 menunjukkan pengaturan untuk mematikan alat ukur (OFF).



Gambar 2. 13 Alat Ukur Earth Tester Model 4105 A

Alat ukur tahanan pentanahan ini adalah jenis *digital resistance earth tester*. Pada alat ini biasanya terdapat 3 terminal yang diberi label E, P, dan C dimana fungsi pada terminal E (kabel hijau) digunakan untuk sistem pentanahan yang sedang diukur. Kemudian fungsi terminal P (kabel kuning) digunakan sebagai titik tengah dari jembatan resistor serta sebagai elektroda potensial tanah yang sedang diukur. Lalu pada terminal C (kabel merah) digunakan sebagai penyuplai arus ke jembatan resistor. Ketiga batang elektroda ini digunakan untuk mengukur seberapa jauh arus listrik mengalir dalam tanah. *Earth tester* digital memiliki perbedaan dengan earth tester analog, yaitu hasil pengukuran earth tester analog disampaikan secara digital atau terdapat pada LCD pengukur, sehingga dapat meminimalisir terjadinya kesalahan dalam pembacaan nilai pengukuran.

Tabel 2. 5 Spesifikasi Earth Tester 4105 A

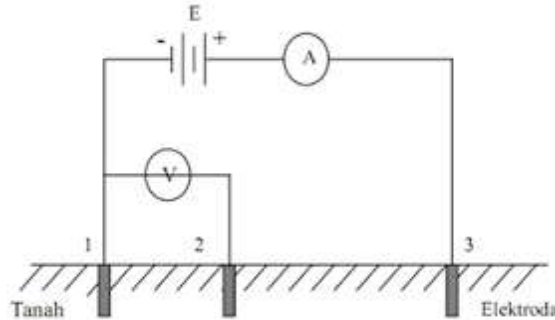
Rentang		Rentang pengukuran	Akurasi
<i>Earth Tester</i>		0-199,9 V	$\pm 1,0\% \text{ rdg} \pm 4 \text{ dgt}$
Tahanan pentanahan	20 Ω	0-19,9 V	$\pm 2,0\% \text{ rdg} \pm 0,1 \Omega$ (0 – 19,99 Ω)
	200 Ω	0-199,9 V	$\pm 2,0\% \text{ rdg} \pm 3 \text{ dgt}$
	2000 Ω	0-1999,9 V	(above 20 Ω)

2.10 Metode Pengukuran Pada Sistem Pentanahan

Pengukuran sistem pentanahan atau *grounding* menggunakan dua metode yaitu metode tiga titik dan metode empat titik.

1. Metode tiga titik (*three point methode*)

Sistem pentanahan atau *grounding* menggunakan metode tiga titik (*three point methode*) mempunyai tujuan melakukan pengukuran tahanan yang diukur. Berikut gambar pengukuran dengan menggunakan metode tiga titik (*three point methode*)

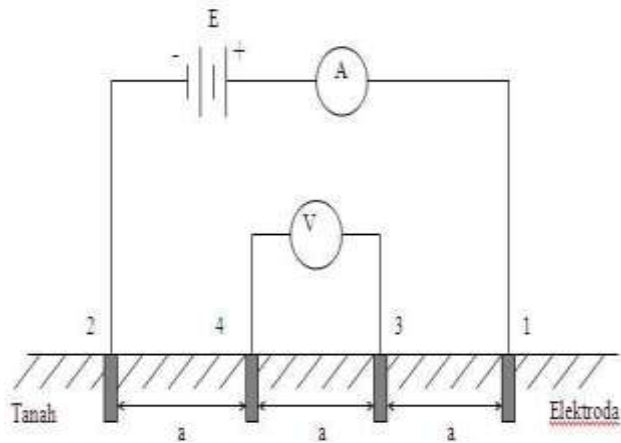


Gambar 2. 14 Rangkaian Pengukuran Tahanan Pentanahan Dengan Metode Tiga Titik

Pada metode ini sering disebut sebagai metode *fall of potential*, yaitu pengukuran resistansi pentanahan tiga terminal. Pada metode ini, *probe* kedua (C2) ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak sejauh D terhadap *probe* pertama (C1) yang dihubungkan dengan elektroda bumi. Sedangkan *probe* ketiga (P2) ditempatkan pada jarak sejauh 62% dari D. Seluruh *probe* disarankan dalam keadaan satu garis lurus. Pada pengukuran dengan metode ini dapat dilakukan pengukuran resistansi tanah dan nilai tegangan tanah atau *earth voltage*. Dalam hal ini digunakan 3 batang elektroda pentanahan. Di mana 1 batang elektroda tahanan akan diukur nilai tahanannya dan 2 lainnya sebagai elektroda bantu, tetapi belum diketahui nilai tahanannya. Pada posisi antara elektroda bantu dan elektroda bantu ujung, sebagian besar arus listrik mengalir pada kedalaman tertentu. Arus listrik ini biasa dikenal dengan sebutan arus injeksi. Posisi elektroda bantu tengah tepat terletak di tengah dari jarak maksimum antara elektroda bantu dan elektroda bantu ujung. Hal ini dilakukan untuk mengamati tegangan pada kedalaman tertentu hanya dengan mengukur tegangan di permukaan tanah. Selanjutnya, dengan mengetahui arus injeksi dan tegangan di elektroda bantu tengah maka diperoleh nilai tahanan pentanahan tanah pada kedalaman tertentu. Metode perhitungan untuk tiap-tiap elektroda dapat dilihat pada rumus dibawah ini (Arifin, 2021):

2. Metode Empat titik (*four electrode methode*)

Metode empat titik ini menggunakan alat ukur dengan empat terminal atau *probe* yang ditancapkan kedalam tanah dengan jarak yang seragam, satu dengan lainnya. Keempat *probe* tersebut selanjutnya dihubungkan dengan kabel ke alat ukur (Jaenal Arifin). Bila arus I masuk ketanah dan kembali ke elektroda lain cukup jauh maka pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan(Arifin, 2021).



Gambar 2. 15 Rangkaian Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Dengan Metode Empat Titik