

PERAN TAHANAN PENTANAHAN PADA PERALATAN LISTRIK

Fauzi¹, Radhiah²

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email: fauzi_listrik@yahoo.co.id¹, radhiah@pnl.ac.id²

Abstrak – Sistem pentanahan merupakan bagian terpenting dari pengamanan peralatan listrik terhadap gangguan tegangan lebih akibat petir. Sistem ini harus mampu mengalirkan arus atau tegangan gangguan dengan cepat ke tanah tanpa ada hambatan. Bumi atau tanah merupakan bagian akhir dari tujuan gangguan. Jika bagian ini tidak memenuhi persyaratan, maka arus atau tegangan gangguan akan menuju ke sistem, sehingga sistem akan terganggu atau bisa menjadi rusak. Oleh sebab itu, tahanan pentanahan harus dibuat serendah mungkin. Hal ini terjadi bila kita memilih metode pentanahan, tahanan jenis tanah, tahanan jenis elektroda, dan elektroda pentanahan yang memenuhi standarisasi dan persyaratan yang diwajibkan. Kegagalan tahanan pentanahan dapat mengakibatkan terganggunya kerja sistem peralatan listrik, dan yang lebih bahaya lagi adalah terbakarnya kumparan peralatan dan terjadinya kontak langsung dengan makhluk hidup disekitarnya, baik manusia, binatang dan tumbuh-tumbuhan.

Kata-kata kunci: *gangguan tegangan lebih, petir, elektroda pentanahan, bumi/tanah, peralatan listrik*

Abstract – The grounding system is the most important part of securing electrical equipment against overvoltage disturbances due to lightning. This system must be able to transfer fault currents or voltages quickly to the ground without resistance. Earth or land is the final part of the disturbance goal. If this part does not meet the requirements, the fault current or voltage will go to the system, so the system will be disturbed or it can be damaged. Therefore, the grounding resistance should be kept as low as possible. This happens when we choose a grounding method, soil resistivity, electrode resistivity, and a grounding electrode that meet the required standards and requirements. The failure of the grounding resistance can result in disruption of the work of the electrical equipment system, and what is even more dangerous is the burning of the equipment coil and direct contact with living things around it, both humans, animals and plants.

Key words: *overvoltage interference, lightning, grounding electrodes, earth/ground, electrical equipment*

I. PENDAHULUAN

Tahanan pentanahan merupakan bagian penting dari sistem pengamanan peralatan listrik, mengingat peralatan listrik tidak terlepas dari gangguan listrik[1]. Untuk menjamin kontinuitas pelayanan kerja peralatan listrik, maka setiap peralatan listrik harus diamankan oleh sistem pengamanan yang baik dan memenuhi syarat-syarat pengamanan, baik pengaman arus hubung singkat maupun pengaman tegangan lebih. Pada dasarnya setiap peralatan listrik diamankan sesuai jenis gangguan yang terjadi. Tahanan pentanahan adalah bagian dari sistem proteksi yang bekerja mengamankan tegangan lebih akibat petir maupun *switching* dengan cara membuang tegangan lebih tersebut ke tanah dengan cepat, sehingga tidak memperluas gangguan ke sistem maupun ke peralatan listrik lainnya. Proses kerjanya adalah melalui penghantar sebagai media pentanahan.

Ada dua metode pemasangan sistem pentanahan, yaitu pentanahan pada sistem dan pentanahan pada peralatan tenaga listrik[1]. Dalam pentanahan peralatan tenaga listrik dimana body atau rangka peralatan yang diketanahkan dengan menghubungkan bagian rangka ke tanah melalui penghantar BCC ke elektroda pentanahan, baik elektroda batang, elektroda plat maupun elektroda

pita. Setiap sistem peralatan tenaga listrik tegangan menengah maupun tegangan tinggi wajib diketanahkan, baik pentanahan sistem maupun pentanahan peralatan secara individual, seperti transformator distribusi, jaringan distribusi dan lain sebagainya.

Secara umum gangguan dapat didefinisikan sebagai kejadian tidak normal yang terjadi pada peralatan listrik dimana peralatan telah merasakan perubahan-perubahan yang terjadi padanya, baik perubahan parameter arus, frekuensi tegangan dan lain sebagainya[2]. Gangguan ini dapat digolongkan dalam dua jenis, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi dari dalam peralatan, seperti gangguan hubung singkat kumparan trafo pada bagian primer dan sekunder, sedangkan gangguan eksternal adalah gangguan yang terjadi di luar peralatan seperti gangguan petir, *switching*, jaringan listrik tertimpa pohon dan lain sebagainya[2].

Gangguan eksternal yang sangat berbahaya adalah gangguan petir. Gangguan ini dapat menimbulkan tegangan lebih mencapai 1,3 miliar volt[3] dan akan merambat ke bumi melalui apa saja yang disambarnya. Oleh sebab itu, setiap peralatan listrik yang menyuplay sumber tegangan listrik harus dilakukan sistem

pentanahan, baik pentanahan titik netral pada sistem maupun pentanahan pada paralatan.

Tahanan pentanahan dalam keadaan normal harus mempunyai tahanan serendah mungkin, dan dalam keadaan tidak normal harus mampu mengalirkan tegangan gangguan/tegangan lebih ke tanah secepat mungkin tanpa ada hambatan, dan tidak sampai terjadi busur tanah di sekitar elektroda pentanahan. Busur tanah akan terjadi bila tahanan pentanahan sangat besar sehingga berbahaya bagi manusia, binatang dan tumbuh-tumbuhan disekitar elektroda pentanahan, termasuk terjadinya kebakaran pada peralatan dan sistem. Bagian-bagian dari tahanan pentanahan antara lain tahanan pentanahan, elektroda pentanahan, konduktor pentanahan, dan penangkal petir[3]. Kesemua bagian tersebut bekerja satu kesatuan dalam mempercepat proses pengamanan terhadap gangguan tegangan lebih.

Pentingnya peranan pentanahan, seperti yang telah diuraikan diatas, menjadi dasar bagi penulis untuk membahas lebih dalam mengenai pentanahan. Pada artikel ini, penulis membahas sistem pentanahan pada peralatan tenaga listrik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk mendapatkan nilai resistansi (R) dari elektroda pentanahan, perlu memperhatikan parameter-parameter yang meliputi resistivitas tanah, resistivitas air tanah, dimensi elektroda pentanahan, dan ukuran elektroda pentanahan[3].

A. Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda pentanahan yang berbentuk bulat maupun pipih dengan diameter antara 5/8 – 3/4 inch yang terbuat dari logam atau tembaga dengan daya hantar yang tinggi dan mempunyai tahanan jenis (ρ) yang baik, sehingga pada saat terjadi keadaan tidak normal, sistem pentanahan mampu bekerja menghantarkan tegangan gangguan dengan cepat ke tanah. Proses pemasangannya adalah dengan menancapkan/menanam ke tanah secara vertikal dengan kedalaman antara 1,2 sampai 3 meter ke dasar tanah. Elektroda ini dapat digunakan satu elektroda maupun lebih elektroda sehingga memperoleh tahanan pentanahan yang rendah.

Bentuk elektroda batang seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



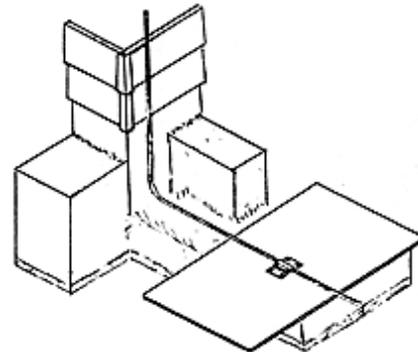
Gbr. 1 Elektroda batang

B. Elektroda Plat

Elektroda plat juga bagian dari elektroda pentanahan yang berbentuk persegi panjang/plat yang terbuat dari logam tembaga dengan daya hantar tinggi dan mempunyai tahanan jenis (ρ) yang baik. Elektroda ini ditanam di dalam tanah dengan kedalaman 1–3 m seluas

plat elektroda yang digunakan[4]. Pada sekitar plat elektroda dibor untuk terminal yang dihubungkan dengan konduktor sebagai penghantar antara terminal peralatan dengan elektroda pentanahan.

Bentuk elektroda plat seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gbr. 2 Elektroda Plat

Elektroda plat lebih baik digunakan sebagai elektroda pentanahan karena volume elektrodanya lebih besar jika dibandingkan dengan elektroda batang. Penggunaan elektroda ini di daerah-daerah yang struktur tanahnya berbatuan.

C. Elektroda Pita

Elektroda pita merupakan jenis elektroda yang berbentuk pita dalam pemasangannya. Elektroda ini pada dasarnya elektroda konduktor logam yang terbuat dari tembaga berbentuk bulat berserat atau serabut yang biasa disebut dengan konduktor BBC.

Bentuk elektroda pita seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gbr. 3 Elektroda Pita

Elektroda pita ditanam di dalam tanah dengan kedalaman 0,6–1 meter mengelilingi peralatan yang diamankan dengan sistem pentanahan elektroda pita. Proses pemasangannya dengan menggali tanah berbentuk pita atau apa saja sehingga elektroda pita dapat digelar melingkari bagian tanah sesuai kebutuhan. Pada salah satu ujung elektroda ini dihubungkan dengan konduktor penghantar ke terminal rangka peralatan yang diamankan terhadap tegangan lebih akibat petir. Elektroda ini pada umumnya digunakan untuk sistem pentanahan peralatan pada Gardu Induk.

Menurut IEEE Std 142TM–2007[5], tujuan sistem pembumian adalah:

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 sistem dan bumi. Deteksi ini akan mengakibatkan

beroperasinya peralatan otomatis yang memutuskan suplay tegangan dari konduktor tersebut.

D. Jenis dan Penampang Elektroda

Sistem pentanahan pada dasarnya satu kesatuan antara penangkal petir, konduktor penyaluran dan media pentanahan. Ketiga bahan tersebut harus mempunyai daya hantar arus yang baik. Adapun bahan yang mempunyai sifat atau daya hantar arus yang baik adalah emas, perak, tembaga, dan alumunium[6]. Disamping mempunyai daya hantar yang baik, bahan ini juga mempunyai diameter atau penampang yang sesuai dengan tegangan yang dilaluinya.

E. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Tahanan Pentanahan

Pada sistem tenaga listrik, tahanan pentanahan harus diperoleh sekecil mungkin baik tahanan pentanahan tegangan rendah, menengah, dan tegangan tinggi, sehingga membuat jalur gangguan secepat mungkin mengalir ke tanah. Besarnya tahanan pentanahan untuk sistem tegangan rendah adalah lebih kecil dari 5Ω dan untuk tegangan menengah lebih kecil dari 20Ω [3].

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan adalah[6]:

1. stuktur tanah
2. jenis elektroda
3. penampang elektroda.
4. panjang jalur elektroda dan.
5. tahanan jenis elektroda.

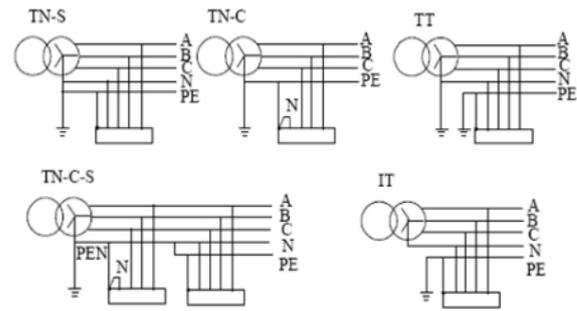
Namun demikian, tahanan elektroda dapat diabaikan pada penerapannya, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan ke peralatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti pada saat terjadi *lightning discharge*. Untuk menghindari hal tersebut, sambungan ini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

F. Klasifikasi Sistem Pentanahan

Berdasarkan standar IEEE, sistem pentanahan dilakukan dalam 5 golongan, yaitu[5]:

1. Sistem pentanahan TN-S (*Terre Neutral-Separate*).
2. Sistem pentanahan TN-CS (*Terre Neutral-Combined Separate*)
3. Sistem pentanahan Grounding TT (*Double Terre*).
4. Sistem pentanahan TN-C (*Terre Neutral-Combined*)
5. Sistem pentanahan IT (*Isolated Terre*).

Klasifikasi sistem pentanahan seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gbr. 4 Klasifikasi Sistem Pentanahan

G. Pembumian Sistem Tenaga

Aliran arus pada rangkaian listrik mengalir pada rangkaian tertutup, dimana awan dengan bumi merupakan isolasi yang baik dengan resistansi yang sangat tinggi. Antara awan dan bumi disebut rangkaian terbuka sehingga tidak dapat mengantarkan muatan listrik. Namun jika terjadi petir, muatan listrik akan mengalir dari awan ke bumi. Ini disebut dengan rambatan gelombang berjalan melalui udara ke bumi karena ada beda potensial. Bumi harus mampu menampung rambatan tersebut tanpa menimbulkan busur tanah.

Hubungan sistem pembumian dengan sistem tenaga listrik atau peralatan listrik adalah dengan menyambungkan titik netral sumber tegangan dengan sistem tenaga listrik atau peralatan listrik pada bagian konduktif. Ada dua cara dalam menghubungkan sistem pembumian dengan peralatan sistem tenaga listrik, yaitu[6]:

1. dengan pembumian sistem tenaga listrik, yaitu menghubungkan sistem tenaga listrik ke bumi melalui titik netral sistem, dan
2. dengan pembumian peralatan sistem tenaga listrik, yaitu dengan menghubungkan rangka peralatan listrik melalui konduktor yang disambungkan ke elektroda pentanahan, atau disebut dengan bagian konduktif peralatan[7].

Jenis-jenis tanah seperti pada Tabel 1.

Tabel I
Tahanan-Tahanan Jenis Tanah

Jenis Tanah	Tahanan Jenis Tanah (Ω m)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1.000
Tanah Berbatu	3.000

III. METODOLOGI

Pentanahan merupakan bagian penting dari sistem tenaga listrik, karena pentanahan merupakan bagian jalur pelepasan muatan listrik yang terjadi akibat

switching atau petir. Sistem pengamanan tidak mampu mengamankan rangkaian listrik secara sempurna mengingat kondisi arus atau tegangan gangguan tidak dapat diprediksi apakah gangguan besar atau kecil. Dalam mengamankan arus atau tegangan gangguan pada sistem tenaga listrik perlu peran dominan dari sistem proteksi termasuk sistem pentanahannya, sehingga kedua sistem ini bekerja bersama dalam menjalankan fungsinya.

Fungsi sistem pentanahan dalam keadaan gangguan harus mampu melepaskan arus atau tegangan gangguan dengan cepat ke bumi melalui elektroda pentanahan. Berbagai metode didesain dalam memperkecil tahanan pentanahan sehingga memperoleh tahanan pentanahan sesuai standar yang berlaku mengingat sistem tenaga listrik dibangun bukan saja pada tahanan pentanahan rendah, namun sistem tenaga listrik juga dibangun pada kondisi tanah dengan tahanan pentanahan tinggi atau pada daerah dengan sifat tanahnya berbatuan.

Metode atau elektroda sistem pentanahan yang digunakan harus mampu mengatasi tahanan pentanahan yang besar sehingga pada saat pelepasan tegangan tidak menjadi busur api disekitar elektroda pentanahan yang dipancarkan ke bumi.

Pada artikel ini penulis mengkaji sistem pentanahan dengan metode elektroda batang dalam memperoleh tahanan pentanahan yang baik. Ada 4 metode dalam menentukan hasil pengukuran tahanan pentanahan dengan elektroda batang, yaitu:

1. Metode pengukuran (dengan elektroda batang).
2. Metode uji gerak beda potensial atau uji drop tegangan (menggunakan tiang pancang)
3. Metode selektif (menggunakan 1 klem dan satu tiang pancang).
4. Metode tanpa tiang pancang (dengan menggunakan 2 klem).

Dr. Frank Wenner dari US Bureau standart (Biro standar Amerika Serikat) telah merumuskan cara menghitung tahanan pentanahan dengan menggunakan Persamaan 1.

$$\rho = 2\pi AR \quad (1)$$

dengan:

ρ = rata-rata tahanan jenis tanah pada kedalaman A (Ωcm)

π = 3,1416

A = jarak antara elektroda (cm)

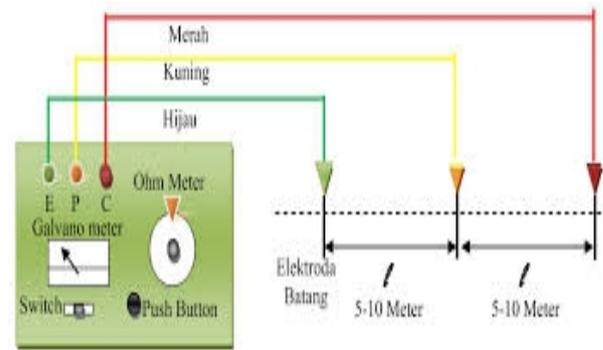
R = tahanan yang terukur (Ω).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Proses Pengukuran Tahanan Pentanahan dengan Elektroda Batang

Pengukuran tahanan pentanahan dengan metode tiang pancang yang ditancapkan ke tanah secara vertikal dilakukan dengan jarak pengukuran antara tiang pancang minimal 3 kali dari kedalaman elektroda pentanahan. Misalkan untuk kedalaman elektroda

pentanahan 3 m, maka jarak masing-masing elektroda pancang atau elektroda pengukuran minimal 0,3 meter antara elektroda pancang dengan jumlah tiang pancang sebanyak 4 buah. Jadi total jarak adalah $0,3 \times 3$ m, atau sama dengan 0,9 m. *Earth Tester* menghasilkan satu arus yang melalui dari 2 tiang pancang luar dan penurunan beda tegangan diukur antara dua tiang pancang dari dalam dengan menggunakan hukum ohm. *Earth Tester* secara otomatis menghitung tahanan pentanahan.



Gbr. 5 Proses Pengukuran Elektroda Panjang

B. Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

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

Oleh karena itu, tahanan jenis tanah tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang tetap. Untuk memperoleh harga sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung di tempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

Langkah-langkah pengukuran dilakukan dengan cara:

1. Menyiapkan alat ukur pentanahan *Earth Tester*.
2. Menanam elektroda pengukuran berbentuk T minimal 2 buah dengan jarak masing-masing 5 m.
3. Kabel *test lead* warna hijau disambungkan ke kabel *grounding* dengan alat penjepit *Earth Tester*.
4. Kabel *test lead* warna kuning disambungkan ke besi T1 (*rood* ukur) dengan jarak 5 m dari *test lead* kabel warna hijau.
5. Kabel warna merah *test lead* disambungkan ke besi T2 dengan jarak 5 m dari T1, atau 10 m dari *test lead* warna hijau.
6. Switch pada *Earth Tester* dihidupkan dengan memilih posisi *range selector* pada posisi 20 Ω .
7. Perhatikan nilai pengukurannya.

C. Contoh Perhitungan menentukan Tahanan Pentanahan dengan Tiang Pancang

Pemasangan elektroda pentanahan pada sistem tenaga listrik dengan kedalaman elektroda 3 m berarti jarak

elektroda tiang pancang harus minimal 0,3 meter antara masing-masing tiang pancang. Tahanan pentanahan diukur dengan alat ukur *Earth tester*. Nilai tahanan yang dibaca adalah dalam ohm Untuk nilai tahanan diasumsikan sebesar 100 Ω, maka:

$$\begin{aligned} \rho &= 2\eta AR \\ &= 2 \times 3,1416 \times 3 \text{ m} \times 100 \Omega \\ \rho &= 1.885 \Omega\text{m.} \end{aligned}$$

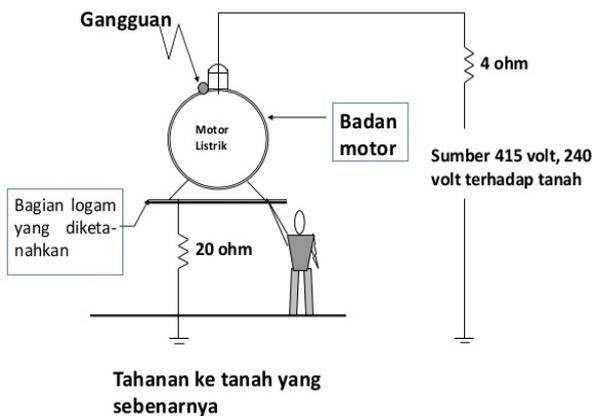
Maka dengan penanaman elektroda pentanahan sedalam 3 m akan menghasilkan tahanan pentanahan sebesar 1,885 Ω.

D. Tanah sebagai Media Sirkulasi Busur Api

Sesuai pernyataan diatas bahwa banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan, antara lain jenis elektroda pentanahan, komposisi tanah, penampang pentanahan termasuk metode pentanahan. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang baik, faktor di atas merupakan faktor penting yang harus diperhatikan dalam memasang tahanan pentanahan pada sistem tenaga listrik.

Nilai tahanan pentanahan yang baik untuk instalasi penerangan sebesar 1 Ω dan tidak melebihi 5 Ω. Komposisi tanah atau struktur tanah faktor dominan dalam memperoleh tahanan pentanahan, sedangkan jenis dan penampang elektroda pentanahan harus dipilih yang tingkat tahanan jenisnya rendah, seperti tembaga, termasuk tingkat kedalaman pemasangan elektroda.

Ilustrasi proses penyaluran arus atau tegangan gangguan pada suatu sistem tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 6.



Gbr. 6 Pentanahan Bagian Konduktif

Pada dasarnya bagian konduktif/logam dari peralatan listrik dalam keadaan normal tidak bertegangan. Namun jika terjadi kegagalan maka arus gangguan tersebut secara cepat mengalir ke tanah melalui tahanan pentanahan yang dipasangkan pada rangka atau bagian konduktif peralatan, sehingga peralatan dan manusia yang menyentuh peralatan aman terhadap arus gangguan.

Tahanan pentanahan yang besar pada sistem tenaga listrik dapat:

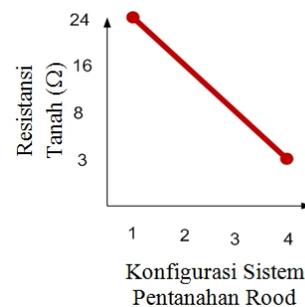
1. mengurangi tegangan pada terminal,
2. mengurangi tegangan pada sistem,
3. mengurangi tegangan gangguan, dan
4. mengurangi waktu terjadinya gangguan pada sistem.

E. Hasil Uji pada Tanah Liat

Hasil uji tahanan pentanahan, dengan penampang elektroda ½ inch, menggunakan konfigurasi *rood* seperti diperlihatkan pada Tabel 2, sedangkan dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 7.

Tabel II
Nilai Tahanan Pentanahan berdasarkan Konfigurasi Elektroda

Kedalaman Elektroda (m)	Nilai R Tanah (Ω)	Konfigurasi
2	24	Tunggal
2	16	Paralel Ganda
2	8	Paralel Tiga
2	3	Paralel Empat



Gbr. 7 Nilai Tahanan Pentanahan berdasarkan Konfigurasi Penanaman Elektroda Rood

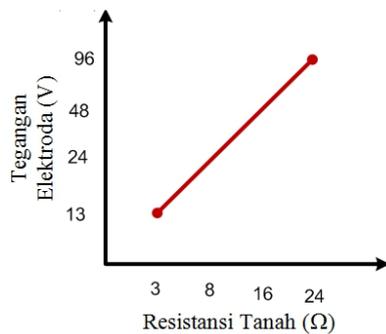
Berdasarkan hasil pada Tabel 2, nilai tahanan pentanahan yang baik adalah lebih kecil dari 5 Ω, diperoleh dengan sistem konfigurasi *rood* yang banyak. Semakin banyak konfigurasi *rood* yang dilakukan maka tahanan pentanahannya semakin mencapai ideal.

Konfigurasi elektroda ini dilakukan dengan cara memparalelkan *rood*-nya. Hal ini dapat dilihat pada grafik tahanan pentanahan fungsi konfigurasi dengan 4 buah elektroda *rood* yang dipasang paralel pada kedalaman 2 m.

Hasil uji tegangan elektroda terhadap tahanan pentanahan seperti pada Tabel 3, sedangkan dalam bentuk grafik seperti pada Gambar 8.

Tabel III
Tegangan Elektroda terhadap Tahanan Pentanahan

R Tanah (Ω)	Tegangan (V)	Keterangan
24	96	Buruk
16	48	Kurang
8	24	Sedang
3	12	Baik



Gbr. 8 Perbandingan Tegangan Elektroda terhadap Tahanan Pentanahan

Tabel 3 menunjukkan penurunan tegangan berdasarkan nilai tahanan pentanahan. Dengan demikian jalur pembuangan muatan ke tanah lebih cepat dan tegangan sisa pada peralatan sangat kecil, sehingga aman pada makhluk hidup yang menyentuh peralatan dan prosesnya dapat dilihat pada grafik Gambar 8.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Metode sistem pentanahan dapat dilakukan dengan berbagai metode antara lain metode tiang pancang, metode penanaman plat dan metode mesh/pita.
2. Metode pentanahan merupakan hal penting dalam memperoleh tahanan pentanahan yang baik.
3. Tahanan pentanahan menggunakan metode tiang pancang diukur dengan syarat jarak antara tiang pancang adalah 0,3 kali dari kedalaman tiang pancang.

4. Gangguan peralatan listrik akibat tegangan lebih dari petir ataupun dari arus bocor dapat diamankan dengan sistem pentanahan.

REFERENSI

- [1] Hutauruk, T. S., & Soantahon, T. (1991). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Nofrian, R. (2013). *Pengetanahan netral sistem tenaga dan pentanahan peralatan*. Manual Book Earth/Ground Tester. Jakarta: Erlangga.
- [3] Arismunandar, A.. (1975). *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [4] Wahyono, W., & Prasetyo, B. (2013). Analisa Pengaruh Jarak dan Kedalaman Terhadap Nilai Tahanan Pembumian dengan 2 Elektroda Batang. *Prosiding SNST Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang, 1*(1).
- [5] IEEE Industry Applications Society. Power System Technologies Committee. (1982). *IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems* (Vol. 142, No. 1982). Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE).
- [6] Badan Standarisasi Nasional. (2000). Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000). *DirJen Ketenagalistrikan*.
- [7] Pabla, A. S. (1991). *Analisa Perbandingan Bentuk Konfigurasi Elektroda Batang pada Sistem Pentanahan*. Palembang.