

Analisa Sistem Pentanahan pada Trafo Distribusi di Universitas Sam Ratulangi

Immanuel Israel Rumondor, Glanny M. Ch. Mangindaan, Sartje Silimang.
Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115
Email: elrumondor@gmail.com, patraslily48@gmail.com, sartje.silimang@unsrat.ac.id

Abstract -- To maintain and secure users and electrical equipment, a system is needed namely a grounding system at the electricity distribution substation. The grounding system in the distribution network is used as a direct safety for equipment and humans in the event of a ground fault or leakage current due to insulation failure and overvoltage in distribution network equipment. Lightning can produce fault currents and also overvoltages where the fault can be channeled to the ground using a grounding system. The grounding system at the distribution transformer of Sam Ratulangi University is gravel which has a resistivity value ($\rho = 1000\Omega.m$). For grounding the neutral point, the grounding value ($R_g = 0.75\Omega$). In this analysis, measurements and calculations of grounding resistance are carried out using the Driven Rod method and also calculating the touch voltage and step voltage.

Keywords : *Grounding, Distribution Transformer, Driven Rod*

Abstrak-- Untuk menjaga serta mengamankan pemakai serta peralatan listrik diperlukan sebuah sistem yaitu sistem pentanahan pada gardu distribusi listrik. Sistem pentanahan pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. Petir dapat menghasilkan arus gangguan dan juga tegangan lebih dimana gangguan tersebut dapat dialirkan ke tanah dengan menggunakan sistem pentanahan. Sistem pentanahan pada trafo distribusi Universitas Sam Ratulangi berkerikil yang mempunyai nilai resistivitas ($\rho = 1000\Omega.m$). Untuk pentanahan titik netral nilai pentanahan ($R_g = 0.75\Omega$) dengan resistivitas ($\rho = 23.25\Omega.m$). Pada Analisa ini dilakukan pengukuran serta perhitungan tahanan pentanahan menggunakan metode Driven Rod dan juga dilakukan perhitungan tegangan sentuh serta tegangan langkah.

Kata Kunci: *Pentanahan, Trafo Distribusi, Driven Rod*

I. PENDAHULUAN

Energi Listrik sangat dibutuhkan manusia dalam menyelenggarakan kehidupannya, untuk menyalurkan kebutuhan listrik tersebut diperlukan suatu jaringan dan gardu distribusi. Karena kebutuhan manusia akan listrik semakin banyak maka diperlukan juga peralatan yang bisa mencukupi kebutuhan tersebut.

Dengan demikian untuk menjaga serta mengamankan pemakai serta peralatan listrik, diperlukan sebuah sistem yaitu sistem pentanahan pada trafo distribusi itu sendiri. Sistem pentanahan pada trafo distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi.

Sistem pentanahan yang baik menurut Standar Nasional Indonesia nilai tahananannya adalah harus kurang dari 5 ohm. Dengan begitu pentingnya sistem pentanahan ini guna mempertahankan kontinuitas pasokan listrik ke konsumen.

Universitas Sam Ratulangi merupakan suatu lembaga pendidikan yang memiliki beberapa fakultas yang mempunyai banyak gedung-gedung untuk perkuliahan, laboratorium, auditorium, dan kantor rektorat, yang menggunakan peralatan listrik. Pemakaian beban listrik juga banyak dipakai dalam pemasangan lampu sebagai penerangan dan peralatan-peralatan listrik lainnya.

Jika sistem pentanahan pada trafo distribusi Universitas Sam Ratulangi kurang baik maka akan terjadinya gangguan-gangguan seperti yang telah dijelaskan tadi dan bisa menyebabkan kerusakan pada peralatan sekaligus juga yang lebih fatal akan melukai makhluk hidup.

Berdasarkan masalah diatas, maka penulis bermaksud mengangkat masalah tersebut menjadi sebuah judul Tugas

Akhir yaitu Analisa Sistem Pentanahan Pada Trafo Distribusi Di Universitas Sam Ratulangi.

II. LANDASAN TEORI

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$) (Suhadi, 2008). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer (Suhadi, 2008). Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke pelanggan konsumen. Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, harus menggunakan tegangan yang setinggi mungkin, dengan menggunakan transformator step-up (Bambang Winardi, Agung Warsito, and Meigy Restanaswari Kartika, 2015). Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan perengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan transformator 4 5 *step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa

sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Bambang Winardi, Agung Warsito, and Meigy Restanaswari Kartika, 2015) (Jeandy T. I. Kume, Ir. Fielman Lisi, MT., Sartje Silimang, ST., MT, 2016).

B. Transformator

Transformator atau trafo adalah komponen elektromagnet yang dapat merubah tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya dalam frekuensi sama. Trafo merupakan jantung dari distribusi dan transmisi yang diharapkan beroperasi maksimal (kerja terus menerus tanpa henti). Agar dapat berfungsi dengan baik, maka trafo harus dipelihara dan dirawat dengan baik menggunakan sistem dan peralatan yang tepat. Trafo dapat dibedakan berdasarkan tenaganya, trafo 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut trafo Interbus Transformator (IBT) dan trafo 150/20 kV dan 70/20 kV disebut trafo distribusi. Trafo pada umumnya ditanahkan pada titik netral sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan atau proteksi. Sebagai contoh trafo 150/20 kV ditanahkan secara langsung di sisi netral 150 kV dan trafo 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau tahanan tinggi atau langsung di sisi netral 20 kV.

C. Sistem Pentanahan

Salah satu faktor utama dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik dilaksanakan maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar.

Untuk mendapatkan nilai suatu pentanahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}} \quad (1)$$

Berdasarkan besarnya arus gangguan dan kenaikan tegangan fasa yang tidak terganggu, impedansi pengetanahan netral dapat diatur. Pemilihan impedansi harus dilakukan secara analitis bila $Z_n =$ besar, $I_f =$ kecil dan $\Delta =$ besar, maka sistem pengetanahan 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 phasa yang tidak terganggu tidak terlalu besar sehingga batas isolasi peralatan dapat dipertahankan atau dikurangi. Stabilitas dan kontinuitas penyaluran beban dapat terjamin.

Syarat sistem pentanahan yang efektif :

- Membuat jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengaman personil dan peralatan dengan menggunakan rangkaian yang efektif.
- Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surya hubung.
- Menggunakan bahan tahan korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah, untuk memastikan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
- Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam perawatan dan perbaikan bila terjadi kerusakan. Dalam sistem pentanahan semakin kecil nilai tahanan maka semakin baik terutama untuk pengamanan personal dan peralatan, beberapa standart yang telah disepakati adalah bahwa saluran transmisi substasion harus direncanakan sedemikian rupa sehingga nilai tahanan pentanahan tidak melebihi 1Ω untuk tahanan pentanahan pada komunikasi system/data dan maksimum harga tahanan yang diijinkan 5Ω pada gedung / bangunan. Suatu pengetanahan netral langsung pada generator dikatakan bilamana adanya hubungan galvanis antara sistem itu dengan tanah tanpa menyisipkan suatu impedansi. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat kawat-tanah begitu besar sehingga tekanan arus lebih berpengaruh dari tekanan tegangan.

Sistem pentanahan dapat dibagi dua;

1. Pentanahan sistem (pentanahan netral)

Pentanahan netral merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan

yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan netral ini dilakukan pada pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi. Oleh karena itu pada saat mana sistem-sistem tenaga relatif mulai besar, sistem-sistem itu diketanahkan melalui tahanan reaktansi. Pengetanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator daya ke tanah.

Tujuan dari Pentanahan Netral

- Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
- Membatasi tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
- Meningkatkan keandalan (*reability*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
- Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh penyalan bunga api yang berulang-ulang (*restrike ground fault*).
- Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.

Metode-metode pengetanahan netral adalah :

- a) Pengetanahan melalui tahanan (*resistance grounding*).

Pentanahan titik netral melalui tahanan (*resistance grounding*) yang dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (*resistor*), sebagai contoh terlihat pada gambar dibawah ini

- b) Pengetanahan melauai reaktor (*reactor grounding*).

Pengetanahan melauai reaktor digunakan bilamana trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Reaktor ini digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan dengan reaktor dimana besar arus gangguan di atas 25 % dari arus gangguan 3 fasa.

- c) Pengetanahan tanpa impedansi (*solid grounding*).

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem dihubungkan langsung dengan tanah, tanpa memasukkan harga suatu impedansi.

- d) Pengetanahan dengan kumparan Petersen (*resonant grounding*).

Pengetanahan dengan kumparan Petersen ialah untuk menghubungkan titik netral trafo daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat berubah-ubah.

2. Pentanahan umum (pentanahan peralatan)

Pentanahan peralatan berfungsi untuk melindungi peralatan dari tegangan lebih dan melindungi makhluk hidup terhadap tegangan sentu.

a) Tegangan sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu objek yang disentuh dan suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pengetanahan yang berada dibawahnya. Besar arus gangguan dipengaruhi oleh tahanan orang dan tahanan kontak ke tanah dari orang tersebut.

Untuk mendapatkan nilai tegangan sentuh untuk orang dengan berat maksimal 70kg dan 50kg dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Et_{70} = (1000 + 1.5 \times Cs \times \rho s) \times Ib_{70} \quad (2)$$

$$Et_{50} = (1000 + 1.5 \times Cs \times \rho s) \times Ib_{50} \quad (3)$$

Dimana :

$$Cs = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho s} \right)}{2.hs + 0.09} \quad Ib_{70} = \frac{0.157}{\sqrt{tf}}$$

Keterangan :

Et_{70} = Tegangan sentuh untuk orang dengan berat 70 Kg (Volt)

Et_{50} = Tegangan sentuh untuk orang dengan berat 50 Kg (Volt)

Cs = Faktor reduksi nilai resistifitas permukaan tanah

hs = Ketebalan lapisan permukaan tanah (Ω -m)

tf = Durasi/lama gangguan (detik)

ρs = Tahanan jenis tanah di sekitar permukaan (Ω -m)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω -m)

Ib = Arus fibrilasi/arus ambang bahaya yang melalui tubuh (A)

Tabel 1 Tegangan Sentuh dan waktu pemutusan maksimum (IEEE, 2000)

| Lama gangguan (t) (detik) | Tegangan sentuh yang diizinkan (volt) |
|------------------------------|---|
| 0.1 | 1980 |
| 0.2 | 1400 |
| 0.3 | 1140 |
| 0.4 | 990 |
| 0.5 | 890 |
| 1 | 626 |
| 2 | 443 |
| 3 | 362 |

b) Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah tanah yang sedang dialiri oleh arus kesalahan ketanah. Dalam hal ini dimisalkan jarak antara kedua kaki orang adalah 1 meter dan diameter kaki dimisalkan 8 cm dalam keadaan tidak memakai sepatu.

Untuk mendapatkan nilai tegangan langkah untuk orang dengan berat maksimal 70kg dan 50kg dapat menggunakan persamaan berikut :

$$Es_{70} = (1000 + 6 \times Cs \times \rho s) \times Ib_{70} \quad (4)$$

$$Es_{50} = (1000 + 6 \times Cs \times \rho s) \times Ib_{50} \quad (5)$$

Keterangan :

Es_{70} = Tegangan langkah untuk orang dengan berat 70 Kg (Volt)

Es_{50} = Tegangan langkah untuk orang dengan berat 50 Kg (Volt)

Tabel 2 Tegangan Langkah dan waktu pemutusan maksimum (IEEE, 2000)

| Lama gangguan (t) (detik) | Tegangan sentuh yang diizinkan (volt) |
|------------------------------|---|
| 0.1 | 7000 |
| 0.2 | 4950 |

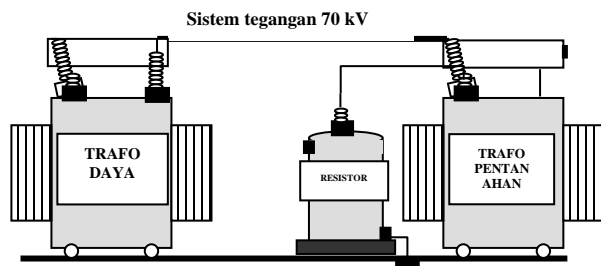
| | |
|-----|------|
| 0.3 | 4040 |
| 0.4 | 3500 |
| 0.5 | 3140 |
| 1 | 2216 |
| 2 | 1560 |
| 3 | 1280 |

Tujuan Pentanahan Peralatan :

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

E. Pentanahan Transformator

Bila pada suatu sistem tenaga listrik tidak terdapat titik netral, sedangkan sistem itu harus diketanahkan, maka sistem itu dapat ditanahkan dengan menambahkan “Transformator Pentanahan” (*grounding transformer*).



Gambar 1. Contoh Gambar Pemasangan Trafo Pentanahan

Transformator pentanahan itu dapat terdiri dari transformator Zig-zag atau transformator bintang-segitiga (Y- Δ). Trafo pentanahan yang paling umum digunakan adalah transformator zig-zag tanpa belitan sekunder.

F. Elektroda Pentanahan dan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan harus sekecil mungkin untuk menghindari bahaya-bahaya yang ditimbulkan oleh adanya arus gangguan tanah. Hantaran netral harus diketanahkan di dekat sumber listrik atau transformator, pada saluran udara setiap 200 m dan di setiap konsumen. Tahanan pentanahan satu elektroda di dekat sumber listrik,

transformator atau jaringan saluran udara dengan jarak 200 m maksimum adalah 10Ω dan tahanan pentanahan dalam suatu sistem tidak boleh lebih dari 5Ω . Seperti yang telah disampaikan di atas bahwa tahanan pentanahan diharapkan bisa sekecil mungkin. Namun dalam prakteknya tidaklah selalu mudah untuk mendapatkannya karena banyak faktor yang mempengaruhi tahanan pentanahan.

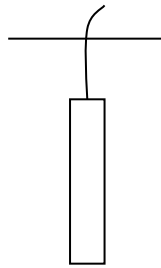
Faktor-faktor yang mempengaruhi besar tahanan pentanahan adalah:

- Bentuk elektroda. Ada bermacam-macam bentuk elektroda yang banyak digunakan, seperti jenis batang, pita dan pelat.
- Jenis bahan dan ukuran elektroda. Sebagai konsekuensi peletakkannya di dalam tanah, maka elektroda dipilih dari bahan-bahan tertentu yang memiliki konduktivitas sangat baik dan tahan terhadap sifat-sifat yang merusak dari tanah, seperti korosi. Ukuran elektroda dipilih yang
- mempunyai kontak paling efektif dengan tanah.
- Jumlah/konfigurasi elektroda. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang dikehendaki dan bila tidak cukup dengan satu elektroda, bisa digunakan lebih banyak elektroda dengan bermacam-macam konfigurasi pemasangannya di dalam tanah.
- Kedalaman penanaman di dalam tanah. Penanaman ini tergantung dari jenis dan sifat-sifat tanah. Ada yang lebih efektif ditanam secara dalam, namun ada pula yang cukup ditanam secara dangkal.
- Faktor-faktor alam. Jenis tanah: tanah gembur, berpasir, berbatu, dan lain-lain. *Moisture* tanah: semakin tinggi kelembaban atau kandungan air dalam tanah akan memperendah tahanan jenis tanah. Kandungan mineral tanah: air tanpa kandungan garam adalah isolator yang baik dan semakin tinggi kandungan garam akan memperendah tahanan jenis tanah, namun meningkatkan korosi, dan suhu tanah: suhu akan berpengaruh bilamencapai suhu beku dan di bawahnya. Untuk wilayah tropis seperti Indonesia tidak ada masalah dengan suhu karena suhu tanah ada di atas titik beku.

Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan

- a) Elektroda Batang

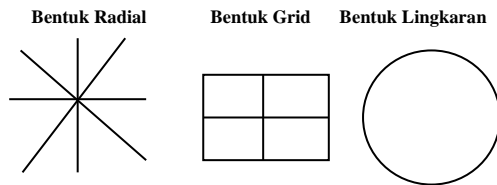
Elektroda batang ialah elektroda dari pipa atau besi baja profil yang ditanamkan ke dalam tanah.



Gambar 2. Elektroda batang

b) Elektroda Pita

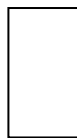
Elektroda Pita Berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam di dalam tanah umumnya penanamannya tidak terlalu dalam. (0,5 --- 1 meter) dan caranya ada bermacam-macam.



Gambar 3. Macam elektroda pita

c) Elektroda Pelat

Elektroda Pelat berupa pelat yang ditanam tegak lurus dalam tanah seperti pada gambar.



Gambar 4. Elektroda pelat

G. Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pembumian dan kapasitansi disekeliling adalah tahanan jenis tanah yang direpresentasikan dengan (ρ). Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu:

- Keadaan struktur tanah antara lain ialah struktur geologinya, seperti tanah liat, tanah rawa, tanah

berbatu, tanah berpasir, tanah gambut dan sebagainya.

- Unsur kimia yang terkandung dalam tanah, seperti garam, logam dan mineral – mineral lainnya.
- Kelembaban tanah seperti basah atau kering
- Temperatur tanah dan jenis tanah.

Tabel 3 Nilai Tahanan jenis tanah berdasarkan standar PUIL

| 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 | 1000 |
| Tanah berbatu | 3000 |

Besar tahanan pembumian pada sistem pembumian ditentukan oleh tahanan jenis tanah. Jadi pada suatu perencanaan sistem pembumian, harus dilakukan terlebih dahulu pengukuran tahanan jenis tanah di tempat tersebut. Berdasarkan harga tahanan jenis tanah tersebut, maka selanjutnya dibuat perencanaan sistem pembumiannya.

III. DATA DAN PENGUKURAN

A. Lokasi dan Spesifikasi Trafo

Penelitian ini untuk menganalisa sistem pentanahan Trafo Distribusi pada Universitas Sam Ratulangi yang berada di samping Gedung Pasca Sarjana Universitas Sam Ratulangi. Trafo Distribusi berada di sebuah ruangan khusus sebelah kiri dan jenis tanah disekitar trafo merupakan jenis tanah kerikil kering.

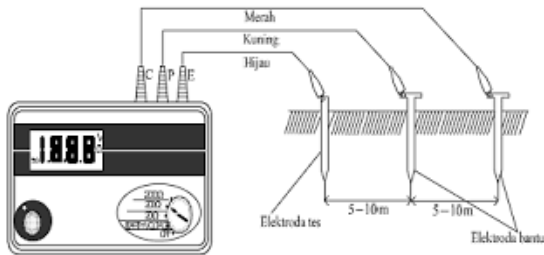
Transformator Distribusi pada Universitas Sam Ratulangi memiliki kapasitas trafo sebesar 1000kVA dan menggunakan tegangan 20kV.

B. Pengambilan Data

Tabel 4 Data Trafo

| No. | Uraian | Hasil |
|-----|--|----------|
| 1. | Beban Phasa R | 600 A |
| 2. | Beban Phasa S | 400 A |
| 3. | Beban Phasa T | 545 A |
| 4. | Tegangan Phasa R | 400 V |
| 5. | Tegangan Phasa S | 400 V |
| 6. | Tegangan Phasa T | 400 V |
| 7. | Pentanahan Titik Netral | 0,75 ohm |
| 8. | Tahanan jenis tanah (Tanah kerikil) | 1000 ohm |

C. Metode Pengukuran



Gambar 5. Metode *Driven Rod*

- Elektroda tes adalah elektroda yang di ukur dengan menggunakan kabel hijau.
- Elektroda bantu adalah elektroda yang membantu elektroda tes untuk mendapatkan nilai tahanan.

Persamaan yang akan digunakan untuk menghitung dengan metode *Driven Rod* adalah sebagai berikut :

1. Untuk menghitung dengan single rod atau 1 batang elektroda :

$$R = \frac{\rho}{2\pi.l} \left(\ln \frac{4.l}{r} - 1 \right) \quad (6)$$

2. Untuk menghitung dengan 2 batang elektroda

$$R = \frac{\rho}{4\pi.l} \left(\ln \frac{4.l}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi.s} \left(1 - \frac{l^2}{3.s^2} + \frac{2.s^4}{5.s^4} \right) \quad (7)$$

3. Untuk menghitung dengan beberapa batang elektroda
Hitung dulu nilai Ra dan Rb

$$Ra = \frac{p2}{(L+hb-h)} \cdot g0 \cdot \frac{Fo}{N} \quad (8)$$

$$Rb = \frac{p1}{(2-hb)} \cdot g0 \cdot \frac{Fo}{N} + \frac{p1}{h} \cdot \varphi0 \quad (9)$$

Kemudian masukan nilai Ra dan Rb pada persamaan berikut untuk mendapatkan tahanan pentanahan :

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{Ra} + \frac{1}{Rb}} \quad (10)$$

Keterangan :

R : tahanan pentanahan

l : Panjang elektroda batang

r : jari – jari elektroda

s : jarak antara elektroda

D. Pengukuran

Tabel 5 Hasil pengukuran resistivitas tanah

| Tahanan Jenis Tanah | |
|-------------------------------------|-------------------|
| Poin | Nilai Tahanan (Ω) |
| RS1 | 127 |
| RS2 | 117 |
| RS3 | 79 |
| RS4 | 67,8 |
| RS5 | 55,5 |
| RS6 | 54,2 |
| RS7 | 41,7 |
| RS8 | 48,8 |
| RS9 | 51,3 |
| RS10 | 44,4 |
| Rata – rata tahanan jenis tanah (ρ) | 68,67 |

III. PERHITUNGAN DAN ANALISA

A. Tahanan pentanahan berdasarkan jenis tanah

Dengan menggunakan persamaan (1) berdasarkan jenis tanahnya, Lokasi Trafo Distribusi pada Universitas Sam Ratulangi memiliki jenis tanah berkerikil sehingga nilai resistivitasnya adalah :

$$P = 1000\Omega m$$

kemudian dimasukan pada persamaan berikut,

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

$$R = \frac{1000}{4} \sqrt{\frac{3.14}{8 \times 5}}$$

$$R = 70.04\Omega$$

Dari hasil diatas dilihat nilainya terlalu besar, kemungkinan yang bisa terjadi karena nilai tahanan jenis tanahnya terlalu besar dimana jenis tanahnya adalah tanah berkerikil dan nilai ini belum bisa dikatakan benar karena tanah kerikil pada lokasi merupakan diatas permukaan tanah.

B. Tahanan pentanahan dengan Metode Driven Rod

Dari perhitungan tahanan pentanahan dengan persamaan (1), didapatkan nilainya masih terlalu besar sehingga dilakukan perhitungan berdasarkan hasil pengukuran dengan metode *Driven Rod*, untuk perhitungan ini bisa diawali dengan menghitung pada satu batang elektroda atau *single rod* dengan menggunakan persamaan (2).

1. Untuk mencari nilai tahanan (R) pada single rod

$$p = 68.67\Omega$$

$$r = 8 \text{ mm}$$

$$l = 1.5 \text{ m}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 \right)$$

$$R = \frac{68.67}{2 \times 3.14 \times 1.5} \left(\ln \frac{4 \times 1.5}{0.008} - 1 \right)$$

$$R = 48.243\Omega$$

Pada perhitungan diambil data berdasarkan pengukuran metode *driven rod* dan dari pengukuran didapatkan rata-rata tahanan jenis tanah, namun hasilnya masih terlalu besar sehingga dilakukan perhitungan pada dua batang elektroda.

2. Untuk mencari nilai tahanan (R) pada dua batang elektroda

Pada dua batang elektroda yang menggunakan

persamaan (3), dimana menggunakan nilai (S) yaitu nilai jarak antara kedua elektroda.

$$R = \frac{\rho}{4\pi l} \left(\ln \frac{4l}{r} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{l^2}{3s^2} + \frac{2s^4}{5s^4} \right)$$

$$R = \frac{68.67}{4 \times 3.14 \times 1.5} \left(\ln \frac{4 \times 1.5}{0.008} - 1 \right) + \frac{68.67}{4 \times 3.14 \times 5} \left(1 - \frac{1 \times 5^2}{3 \times 5^2} + \frac{2 \times 5^4}{5 \times 5^4} \right)$$

$$R = 24.527\Omega$$

Pada perhitungan dua batang elektroda nilainya juga masih besar, namun jauh lebih rendah dari perhitungan pada *single rod* sehingga dilakukan perhitungan dengan desain saya sendiri menggunakan 5 batang elektroda

3. Untuk mencari nilai tahanan dari beberapa batang elektroda

Dari perhitungan *single rod* dan dua batang elektroda hasilnya masih besar maka dilakukan perhitungan dengan beberapa batang elektroda dan disini dihitung untuk 5 batang elektroda.

a) Menentukan nilai K

$$K = \frac{p1 - p2}{p1 + p2}$$

$$K = \frac{68.67 - 68.67}{68.67 + 68.67}$$

$$K = 0$$

b) Menentukan nilai Fo

$$Fo = \frac{L}{1 - 0.9k}$$

$$Fo = \frac{1.5}{1 - 0.9 \times 0}$$

$$Fo = 1.5$$

c) Menentukan nilai go

$$g0 = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{2L}{r} \right) - 1 - \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \ln 2 \times l)}{L}} \right]$$

$$g0 = \frac{1}{2 \times 3.14} \left[\ln \left(\frac{2 \times 1.5}{0.008} \right) - 1 - \frac{\ln 2}{1 + \frac{(4 \times \ln 2 \times 1)}{1.5}} \right]$$

$$g0 = 0.356$$

d) Menentukan nilai ϕ_0

$$\varphi_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left(\ln \frac{1}{1-k} \right) \\ \sqrt{\left(\frac{N}{F_0} - 1 \right) + 1^2}$$

$$\varphi_0 = \frac{1}{2 \times 3.14} \left(\ln \frac{1}{1-0} \right) \\ \sqrt{\left(\frac{5}{3} - 1 \right) + 1^2}$$

$$\varphi_0 = 0$$

e) Menentukan nilai Ra

$$Ra = \frac{p^2}{(L+hb-h)} \cdot g_0 \cdot \frac{F_0}{N}$$

$$Ra = \frac{68.67}{(1.5+1-2)} \times 0.356 \times \frac{1.5}{5}$$

$$Ra = 14.667$$

f) Menentukan nilai Rb

$$Rb = \frac{p^1}{(2-hb)} \cdot g_0 \cdot \frac{F_0}{N} + \frac{p^1}{h} \cdot \varphi_0$$

$$Rb = \frac{68.67}{(2-1)} \times 0.356 \times \frac{1.5}{5} + \frac{68.67}{1} \times 0$$

$$Rb = 7.333$$

g) Menentukan nilai Rtotal

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{Ra} + \frac{1}{Rb}}$$

$$Rt = \frac{1}{\frac{1}{14.667} + \frac{1}{7.333}}$$

$$Rt = 4.901 \Omega$$

Berdasarkan hasil diatas didapatkan R total ($R_t \leq 5 \Omega$), hasil ini sudah baik karena pada perhitungan ini ditambahkan beberapa elektroda dan kedalaman elektroda sehingga dapat disimpulkan bahwa pentanahan dengan metode *driven rod* pada trafo Universitas Sam Ratulangi telah memenuhi standart IEEE.

C. Perhitungan Pentanahan Netral

Setelah menghitung *grounding* atau tahanan pentanahan pada Trafo Distribusi di Universitas Sam Ratulangi, selanjutnya untuk perhitungan Pentanahan Titik Netral. Didapatkan dari data pada tabel 3.1 nilai pentanahan titik netral adalah **0.75Ω** dan nilai a = 5 m

Dari data tersebut dapat dilakukan perhitungan untuk

resistivitas atau tahanan jenis tanah pada Pentanahan Titik Netral dengan menggunakan persamaan :

$$\rho = K \cdot \frac{V}{I}$$

Dari persamaan diatas, $\frac{V}{I}$ merupakan rumus untuk mencari tahanan pentanahan, dan tahanan untuk pentanahan titik netral sudah didapatkan maka,

$$R = \frac{V}{I} = 0.75 \Omega$$

Untuk nilai K dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut,

$$K = 2\pi a$$

$$K = 2 \times 3.14 \times 5 = 31.4m$$

Kemudian dari hasil diatas, dimasukan pada persamaan awal tadi yaitu,

$$\rho = 31.4m \times 0.75 \Omega$$

$$\rho = 23.55 \Omega \cdot m$$

Berdasarkan hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa pentanahan netral dari trafo Universitas Sam Ratulangi sudah memenuhi standart IEEE dimana pentanahannya ($R \leq 5 \Omega$). Dan dari hasil ini juga dianalisa bahwa pentanahan titik netral pada Universitas Sam Ratulangi ditanam pada kedalaman yang besar sehingga dapat mencapai nilai yang rendah.

D. Perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah

Setelah menghitung pentanahan titik netral, selanjutnya dilakukan perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah yang merupakan bagian dari pentanahan peralatan. Disini saya menghitung tegangan sentuh dan tegangan langkah untuk orang dengan berat badan maksimal 50kg dan 70kg dengan waktu gangguan 0.5detik.

1. Tegangan sentuh

Untuk menghitung tegangan sentuh diketahui :

$$\rho = 100 \Omega \cdot m$$

$$\rho_s = 1000 \Omega \cdot m$$

$$h_s = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$t_f = 0.5 \text{ detik}$$

dimana,

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2.hs + 0.09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{100}{1000}\right)}{2 \times 0.15 + 0.09}$$

$$C_s = 0.8$$

Untuk menghitung tegangan sentuh dengan orang yang memiliki berat maksimal 70 kg menggunakan persamaan (2).

$$Et_{70} = (1000 + 1.5 \times C_s \times \rho_s) \times Ib_{70}$$

$$Et_{70} = (1000 + 1.5 \times 0.8 \times 1000) \times \frac{0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$Et_{70} = 493.43V$$

Jadi nilai tegangan sentuhnya adalah **493.43V**

Untuk menghitung tegangan sentuh dengan orang yang memiliki berat maksimal 50 kg menggunakan persamaan (3).

$$Et_{50} = (1000 + 1.5 \times C_s \times \rho_s) \times Ib_{50}$$

$$Et_{50} = (1000 + 1.5 \times 0.8 \times 1000) \times \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}$$

$$Et_{50} = 364.57V$$

Jadi nilai tegangan sentuhnya adalah **364.57V**

Dari hasil perhitungan tegangan sentuh kedua nilai tersebut telah memenuhi standart dimana dengan lama gangguan 5 detik tegangan sentuh ≤ 890 V.

2. Tegangan Langkah

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2.hs + 0.09}$$

$$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{100}{1000}\right)}{2 \times 0.15 + 0.09}$$

$$C_s = 0.8$$

Untuk menghitung tegangan langkah dengan orang yang memiliki berat maksimal 70 kg menggunakan persamaan (4)

$$Es_{70} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times Ib_{70}$$

$$Es_{70} = (1000 + 6 \times 0.8 \times 1000) \times \frac{0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$Es_{70} = 1299.2V$$

Jadi nilai tegangan langkahnya adalah **1299.2V**

Untuk menghitung tegangan langkah dengan orang yang memiliki berat maksimal 50 kg menggunakan persamaan (5)

$$Es_{50} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times Ib_{50}$$

$$Es_{50} = (1000 + 6 \times 0.8 \times 1000) \times \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}$$

$$Es_{50} = 962.8V$$

Jadi nilai tegangan langkahnya adalah **962.8V**

Dari hasil perhitungan tegangan langkah kedua nilai tersebut telah memenuhi standart dimana dengan lama gangguan 5 detik tegangan sentuh ≤ 3140 V.

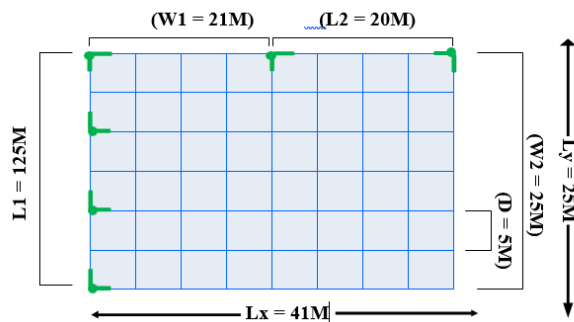
Untuk keseluruhan hasil dari perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 6 Hasil Perhitungan

| No. | Uraian | Resistivitas | Hasil | Standar |
|-----|--|-------------------|-----------------|------------|
| 1. | Tahanan Pentanahan berdasarkan jenis tanah | 1000 Ω -m | 70.04 Ω | 5 Ω |
| 2. | Single rod | 68.67 Ω -m | 48.243 Ω | 5 Ω |
| 3. | Dua batang elektroda | 68.67 Ω -m | 24.527 Ω | 5 Ω |
| 4. | Beberapa batang elektroda (5 batang) | 68.67 Ω -m | 4.901 Ω | 5 Ω |
| 5. | Titik Netral | 23.55 Ω -m | 0.75 Ω | 5 Ω |
| 6. | Tegangan sentuh (70 kg) | - | 493.43 V | 890 V |
| 7. | Tegangan sentuh (50 kg) | - | 364.57 V | 890 V |
| 8. | Tegangan langkah (70 kg) | - | 1299.2 V | 3140 V |
| 9. | Tegangan langkah (50 kg) | - | 962.8 V | 3140 V |

2. Desain *grounding*

Dari perhitungan pentanahan dengan metode *driven rod* menggunakan 5 batang elektroda maka diperoleh desain *grounding* yang tepat untuk Trafo Distribusi di Universitas Sam Ratulangi yang dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 6. Desain *grounding*

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

- 1) Jenis tanah disekitar trafo distribusi di Universitas Sam Ratulangi adalah tanah berkerikil yang mempunyai nilai resistivitas ($\rho = 1000 \Omega \cdot m$) sehingga didapatkan nilai tahanan pentanahan ($R_g = 70.04 \Omega$). Dari hasil tersebut belum memenuhi standar nilai pentanahan yang baik yaitu dibawah 5Ω , maka dilakukan perhitungan dengan metode driven rod dan didapatkan nilai pentanahan yang baik yaitu ($R_g = 4.910 \Omega$).
- 2) Sistem pentanahan pada trafo distribusi di Universitas Sam Ratulangi menggunakan pentanahan titik netral dan pentanahan peralatan. Dari data dan perhitungan pada pentanahan titik netral didapatkan nilai pentanahan ($R_g = 0.75 \Omega$) dan nilai resistivitas ($\rho = 23.25 \Omega \cdot m$).
- 3) Berdasarkan perhitungan tegangan sentuh dan tegangan langkah pada trafo distribusi Universitas Sam Ratulangi sudah memenuhi nilai standar untuk orang yang memiliki berat maksimal 70 kg dan 50 kg dengan lama gangguan 0.5 detik

B. Saran

- 1) Setelah melakukan perhitungan dan analisa maka untuk

mendapatkan standar nilai pentanahan yang tepat sebaiknya menggunakan metode Sistem Pentanahan Driven Rod.

- 2) Semakin lembab tanah yang berada di lokasi trafo akan memberi pengaruh baik terhadap nilai tahanan pentanahan.
- 3) Penambahan jumlah batang elektroda dan kedalaman pentanahan pada metode Driven Rod akan memberikan solusi modifikasi untuk mendapatkan nilai pentanahan yang lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Abrar Tanjung. (2015). Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.
- 2) Aidil Fitriyanto, Firdaus. ANALISIS SISTEM PENTANAHAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU. Fakultas Teknik Universitas Riau Kampus Bina Widya
- 3) Alubaidah, Fajar (2019) PERANCANGAN SALURAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH UNTUK PENAMBAHAN BEBAN BARU PADA GEDUNG DI JPTE FT UNY. D3 thesis, Universitas Negeri Yogyakarta.
- 4) Muhammad Kamal Hamid, Said Abubakar. (2016). Sistem Pentanahan Pada Transformator Distribusi 20 kV di PT.PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon
- 5) NILA NURWAJID OKTORI, NILA NURWAJID OKTORI (2018) ANALISIS NILAI TAHANAN PENTANAHAN GARDU DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN (PERSERO) AREA MATARAM RAYON PRINGGABAYA. Diploma thesis, Universitas Teknologi Sumbawa.
- 6) PT PLN (Persero). Grounding System. Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero)
- 7) Suhadi, dkk. (2008). Teknik Distribusi Tenaga Listrik Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.



Immanuel Israel Rumondor lahir pada 07 Juni 1998 di Tondano Sulawesi Utara, pada tahun 2016 memulai pendidikan di Universitas Sam Ratulangi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro dengan mengambil konsentrasi Minat Teknik Tenaga Listrik pada tahun 2018. Dalam menempuh pendidikan penulis juga pernah melaksanakan Kerja Praktek yang bertempat di PT. Jago Elfah Anugerah pada bulan Mei-Juli tahun 2019. Penulis selesai menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado pada tahun 2021, dengan judul penelitian yaitu Analisa Sistem Pentanahan pada Trafo Distribusi di Universitas Sam Ratulangi

