

ANALISIS SISTEM PENTANAHAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS RIAU

Aidil Fitriyanto¹⁾, Firdaus²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: aidil.fitriyanto@student.unri.ac.id¹⁾; firdaus@eng.unri.ac.id²⁾

ABSTRACT

Today the need for electrical energy increases in term of supporting people's lives, the needs for electrical of household, colleges, and industries. To distribution the electricity from producers to consumers there is often blackout due to grounding is not achieved the standard, so when a fault occurs fault current cannot be through to ground well. This research proposes to analyze the Distribution Transformer Grounding System at Engineering Faculty of Riau University. To find out whether resistance grounding of the transformer achieved the standard, to protect people who where passing or touching equipment around the transformer from the danger of shock electricity when a fault occurs. Method of this research is collecting parameter ρ , ρ_s , R_N by measurement, calculating using the formula of grounding resistance, touch voltage, step voltage, and power losses. Then, the analysis was carried out and compared IEEE Std 80 : 2000. The results of measurement, got the highest resistance is 5Ω did not achieved the standar and got the lowest resistance is 1Ω this achieved the standard of $\leq 1 \Omega$. The touch voltage with the highest resistance 5Ω in fault current 10,311 A is 51,555 V, this value did not achieved the standard touch voltage ± 70 Kg is 998.29 V and touch voltage ± 50 Kg is 737.59 V. The step voltage with the highest resistance 5Ω in fault current 10,311 A is 51,555 V, this value did not achieved the standard step voltage ± 70 Kg is 3,327.05 V and step voltage ± 50 Kg is 2,458.2 V. Power losses in the neutral conductor of Transformer I is 42.8 watt and Transformer II is 32 watt, the standard of below 500 watt. The data obtained, grounding resistance of the distribution transformer at Engineering Faculty of Riau University not according to IEEE Std 80 : 2000.

Keywords : Grounding, touch voltage, step voltage, power losses.

I. PENDAHULUAN

Untuk menyalurkan kebutuhan tenaga listrik dari produsen listrik ke konsumen diperlukan gardu distribusi yang didalamnya terdapat transformator distribusi. Dikarenakan trafo distribusi yang sangat dekat lokasinya dengan konsumen maka dari itu diperlukannya pengaman agar tidak membahayakan manusia yang didekatnya pada saat beban normal maupun terjadi gangguan, pengaman yang memiliki keandalan tinggi yang dapat mencegah pemadaman saat gangguan, salah satu pengaman yang dapat digunakan ialah pentanahan.

Pentanahan ada dua macam yaitu pentanahan peralatan dan pentanahan titik netral sistem. Pentanahan titik netral sistem adalah dengan menghubungkan titik netral sistem ke tanah melalui penghantar baik itu menggunakan tahanan,

kapasitor, maupun pentanahan langsung (*solid*) untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah. Pada saat terjadi gangguan, arus gangguan yang dialirkan ke tanah melalui pentanahan akan menimbulkan perbedaan tegangan pada permukaan tanah yang disebabkan karena adanya tahanan tanah. Jika pada waktu gangguan terjadi seseorang berjalan di dekatnya sambil menyentuh suatu peralatan yang ditanahkan yang terkena gangguan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut.

Hamid, M. K. dan Abubakar, S., telah melakukan pengujian pengukuran jenis elektroda pentanahan pada transformator distribusi 20 kV Rayon Lhoksukon PT. PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon menggunakan 4 elektroda batang dengan nilai tahanan pentanahan sebesar 2Ω . Sehingga tahanan pentanahan telah

memenuhi standar PUIL 2000 dengan nilai tahanan 5 Ω (Muhammad Kamal Hamid, Said Abubakar, 2016).

Lalu Tanjung, A., juga telah melakukan penelitian tentang analisis sistem pentanahan transformator distribusi di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru dengan melakukan pengukuran untuk mendapatkan data lapangan lalu melakukan perhitungan dengan menggunakan rumus dan hasil yang didapatkan dibandingkan dengan standar IEC. Berdasarkan hasil perhitungan nilai pentanahan peralatan transformator distribusi diperoleh sebesar 22.15 Ω , arus gangguan hubung singkat pada transformator distribusi 1.15 A, kenaikan tegangan fasa sehat diperoleh untuk transformator distribusi sebesar 308 V, tegangan sentuh 288.1 V dan tegangan langkah sebesar 938 V, rugi-rugi daya akibat arus netral sebesar 111.62 W (Tanjung, 2015).

Selanjutnya Rahmadhani, C., telah melakukan penelitian studi perancangan sistem pembumian gardu induk 150/20 kV di gardu induk Garuda sakti dengan cara pengambilan data lapangan dan melakukan perhitungan menggunakan rumus dan membandingkan hasilnya dengan standar *IEEE Std 80-2000*. Berdasarkan perancangan didapatkan hasil, yaitu tegangan mesh 626.38 V, tegangan langkah 344.46 V panjang konduktor 2300 m dengan tahanan 0.55 Ω dan konduktor telah menerima perancangan ini bisa mengkover seluas area 86.59 mm². Dari keseluruhan perancangan telah memenuhi standar *IEEE Std 80-2000*, sehingga perancangan yang dibuat bisa dikatakan aman (Rahmadhani, 2017).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem pentanahan transformator di berbagai tempat, pada penelitian ini juga akan dilakukan di fakultas teknik universitas Riau untuk mengetahui apakah sistem pentanahan di transformator distribusi fakultas teknik telah memenuhi standar *IEEE Std 80-2000*.

Pentanahan

Sistem Pentanahan sudah mulai dikenal sejak tahun 1900-an. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan karena ukurannya masih sangat kecil dan tidak terlalu membahayakan (Sumardjati, 2008). Perkembangan dari sistem tenaga listrik dengan tegangan listrik yang semakin tinggi dan jarak jangkauannya semakin jauh, maka diperlukan sistem pentanahan seperti sekarang ini. Apabila tidak ada pentanahan yang baik, dapat menimbulkan potensi bahaya listrik bagi manusia,

peralatan elektronik dan sistem pelayanan listrik itu sendiri.

Pentanahan Titik Netral Sistem

Pada sistem tenaga yang semakin besar dengan panjang saluran dan besarnya tegangan, akan menimbulkan arus gangguan yang semakin besar. Dengan demikian apabila terjadi gangguan tanah akan semakin besar dan busur listrik tidak dapat padam dengan sendirinya ditambah gejala-gejala busur tanah semakin menonjol. Gejala busur tanah adalah suatu proses terjadinya pemutusan (*clearing*) dan pukulan balik (*restricting*) dari busur listrik secara berulang-ulang. Hal ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan tegangan *transient* yang lebih tinggi dan dapat merusak peralatan juga akan membahayakan pekerja atau masyarakat di sekitarnya karena akan timbul tegangan sentuh dan tegangan langkah. Oleh karena itu, pada sistem tenaga besar (pada sistem Y) titik netral sistem ditanahkan melalui tahanan. (Muhammad Kamal Hamid, Said Abubakar, 2016)

Tujuan Pentanahan Titik Netral Sistem adalah (Rahmawati, 2009) :

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

Tabel 1 untuk pengelompokan beberapa tahanan jenis tanah sesuai dengan standar PUIL : 2000.

Tabel 1. Tahanan Jenis Beberapa Jenis Tanah (PUIL, 2000)

Jenis Tanah	Tahanan Jenis ($\Omega.m$)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat dan Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir dan Kerikil Kering	1000
Tanah berbatu	3000

Dalam sistem pentanahan semakin kecil nilai tahanan maka semakin baik terutama untuk pengamanan personal dan peralatan, beberapa standar yang telah disepakati adalah bahwa tahanan pentanahan pada komunikasi sistem/ data dan maksimum harga tahanan yang diijinkan 5 Ω pada gedung / bangunan (Tanjung, 2015). Untuk menghitung tahanan pentanahan suatu bangunan menggunakan persamaan dibawah ini (IEEE, 2000) :

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

Keterangan:

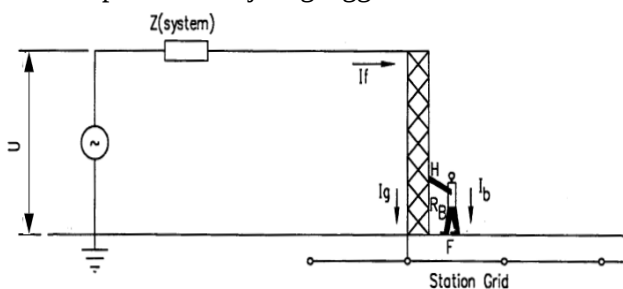
R = Tahanan Pentanahan (ohm)

ρ_s = Tahanan jenis tanah (ohm-meter)

A = luas area pentanahan (m^2)

Tegangan sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang timbul antara suatu objek yang disentuh dari suatu titik berjarak 1 meter, dengan asumsi bahwa objek yang di sentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada dibawahnya. Besar arus gangguan dibatasi oleh tahanan tubuh manusia dan tahanan kontak ke tanah dari kaki manusia tersebut (IEEE, 2000). Gambar 1 menunjukkan salah satu kejadian yang menyebabkan timbulnya tegangan sentuh pada saat terjadi gangguan.



Gambar 1. Tegangan Sentuh (IEEE, 2000)

Berikut adalah rumus untuk mencari tegangan sentuh pada berat badan maksimal 70 Kg dan pada berat badan berkisar 50 Kg.

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

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

Dimana :

$$Cs = 1 - \frac{0.09 (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 hs + 0.09} \quad (4)$$

$$Ib_{70} = \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \quad (5)$$

$$Ib_{50} = \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \quad (6)$$

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)

t_f = Durasi/lama gangguan (detik)

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

ρ = Tahanan jenis tanah (Ω -m)

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

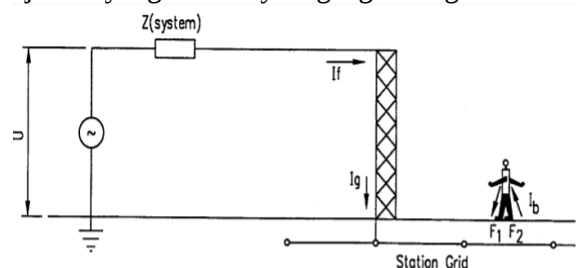
Tabel 2 tegangan sentuh dan setting waktu pemutusan pada proteksi, yang diizinkan oleh IEEE Std 80 : 2000.

Tabel 2. 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

Tegangan langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang timbul di antara dua kaki orang yang sedang berdiri di atas tanah tanah yan 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 (IEEE, 2000). Gambar 2 salah satu kejadian yang timbulnya tegangan langkah.



Gambar 2. Tegangan Langkah (IEEE, 2000)

Dibawah ini adalah rumus untuk mencari tegangan langkah pada berat badan maksimal 70 Kg dan pada berat badan berkisar 50 Kg.

$$Es_{70} = (1000 + 6 Cs \times \rho_s) \times Ib_{70} \quad (7)$$

$$Es_{50} = (1000 + 6 Cs \times \rho_s) \times Ib_{50} \quad (8)$$

Keterangan :

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

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

Dibawah ini adalah tabel tegangan langkah dan *setting* waktu pemutusan pada proteksi yang diizinkan oleh IEEE Std 80 : 2000.

Tabel 3. Tegangan Langkah dan waktu pemutusan maksimum (IEEE, 2000)

Lama gangguan (t) (detik)	Tegangan Langkah yang Diizinkan (Volt)
0.1	7000
0.2	4950
0.3	4040
0.4	3500
0.5	3140
1	2216
2	1560
3	1280

2.1. Rugi-Rugi Daya

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan rugi-rugi (*losses*) (Kadir, 1997). Standar yang diperbolehkan oleh IEEE Std 80 : 2000 untuk rugi-rugi daya ialah 500 watt (IEEE, 2000).

Losses yang diakibatkan karena arus yang mengalir pada penghantar netral dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (9)$$

keterangan:

P_N = *losses* akibat arus yang mengalir pada penghantar netral (Watt)

I_N = Arus yang mengalir pada penghantar netral (A)

R_N = Tahanan penghantar netral trafo (Ω)

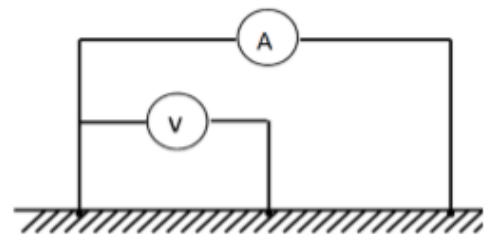
II. METODA PENELITIAN

Pada penulisan artikel ini dilakukan penelitian dengan data hasil pengukuran langsung di Transformator Distribusi Fakultas Teknik

Universitas Riau. Kemudian dilakukan perhitungan menggunakan rumus yang telah dituliskan. Selanjutnya hasil yang didapat dari hasil pengukuran dan hasil perhitungan dianalisa dan dibandingkan dengan standar *IEEE Std 80-2000*.

Pengukuran Tahanan Pentanahan

Pengukuran tahanan pentanahan disini menggunakan metode tiga titik. Metode tiga titik dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengetanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya (Isyanto, 2006). Seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran Tahanan Metode Tiga Titik (Isyanto, 2006)

Pengukuran Arus Netral

Mengukur arus yang mengalir di penghantar netral tidak lah susah melainkan dengan mengatur alat ukur ke *ampere* dan membuka jepitan tang *ampere* kemudian memasukkan kabel kedalamnya setelah itu menunggu angka dilayar alat tang *ampere* stabil dan didapatkan nilai arus yang mengalir pada penghantar netral.



Gambar 4 Pengukuran arus penghantar netral (Fitriyanto, 2019)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Tahanan Pentanahan

Tabel 4. Data Pengukuran Tahanan Pentanahan

N o	Hari	Tgl	Waktu (wib)	Tahanan (Ω)	Kondisi tanah
1	Sabtu	23	15.30	1	Basah
2	Sabtu	23	15.35	1,2	Basah
3	Sabtu	23	15.40	1,2	Basah
4	Minggu	24	08.35	1,8	Lembab
5	Minggu	24	08.45	2,5	Lembab
6	Minggu	24	08.50	3	Lembab
7	Minggu	24	15.10	1,9	Lembab
8	Minggu	24	15.15	1,3	Lembab
9	Minggu	24	15.20	1,5	Lembab
10	Senin	25	08.10	5	Kering
11	Senin	25	08.15	4,6	Kering
12	Senin	25	08.20	4,5	Kering
13	Senin	25	14.15	4,1	Kering
14	Senin	25	14.20	3	Kering
15	Senin	25	14.25	4,3	Kering

Nilai tahanan pentanahan tertinggi yaitu terjadi pada hari senin tanggal 25 februari pukul 08.10 wib sebesar 5 Ω , nilai tahanan pentanahan terendah atau terbaik untuk pentanahan titik netral trafo terjadi pada hari sabtu tanggal 23 pukul 15.30 wib yaitu sebesar 1 Ω , sedangkan untuk hasil perhitungan tahanan pentanahan. Nilai tahanan jenis tanah pada transformator distribusi fakultas teknik yaitu 100 Ω -m, dengan menggunakan rumus 1 :

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

$$R = \frac{100}{4} \sqrt{\frac{\pi}{P \times L}}$$

$$R = \frac{100}{4} \sqrt{\frac{\pi}{12 \times 5}}$$

$$R = 5,72 \Omega$$

Untuk hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan tertinggi yaitu terjadi pada hari senin tanggal 25 februari pukul 08.10 wib sebesar 5 Ω tidak memenuhi standar yaitu $\geq 1 \Omega$ dan dinyatakan tidak baik untuk pentanahan titik netral, sedangkan pada perhitungan menggunakan rumus 1 didapat nilai 5,72 Ω atau diatas nilai standar 1 Ω .

Karena pentanahan peralatan dan pentanahan titik netral sistem elektroda pentanahannya digabung menjadi satu maka nilai

tahanan pentanahan ialah = 5 Ω , untuk hasil pengukuran nilai tahanan pentanahan peralatan tidak memenuhi standar yaitu $\geq 1 \Omega$.

Perhitungan Tegangan Sentuh

Untuk jenis tanah disekitar Transformator Distribusi Fakultas Teknik adalah tanah berbatu, dan tahanan jenis tanah nya ialah 3000 Ω .m, sedangkan untuk jenis tanah sekitar Transformator dibawah 15 cm adalah tanah liat dan tanah ladang dan tahanan jenis tanah nya ialah 100 Ω .m.

$$\rho = 100 \Omega . m$$

$$\rho_s = 3000 \Omega . m$$

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

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

Dengan menggunakan rumus 4 :

$$Cs = 1 - \frac{0.09 (1 - \frac{\rho}{\rho_s})}{2 hs + 0.09}$$

$$Cs = 1 - \frac{0.09 (1 - \frac{100}{3000})}{2 (0.15) + 0.09}$$

$$= 0.777$$

Didapatkan faktor reduksi nilai resistifitas permukaan tanah adalah 0.777, maka dari itu perhitungan tegangan sentuh untuk orang dengan berat maksimal 70 Kg, dengan menggunakan rumus 2 adalah:

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

$$Et_{70} = (1000 + 1.5 Cs \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_f}}$$

$$Et_{70} = (1000 + 1.5 \times 0.777 \times 3000) \times \frac{0.157}{\sqrt{0.5}}$$

$$= 998.29 \text{ V}$$

Selanjutnya, perhitungan tegangan sentuh untuk orang dengan berat maksimal 50 Kg, dengan menggunakan rumus 3 :

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

$$Et_{50} = (1000 + 1.5 Cs \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_f}}$$

$$Et_{50} = (1000 + 1.5 \times 0.777 \times 3000) \times \frac{0.116}{\sqrt{0.5}}$$

$$= 737.59 \text{ V}$$

Pada tegangan sentuh untuk orang dengan berat maksimal 70 Kg didapat nilai 998.29 V, nilai ini telah memenuhi standar tegangan sentuh 1140 V dengan lama gangguan adalah 0.3 detik, sedangkan pada tegangan sentuh untuk orang dengan berat maksimal 50 Kg didapat nilai 737.59 V nilai ini

telah memenuhi standar tegangan sentuh 890 V dengan lama gangguan adalah 0.5 detik. Jadi, *setting* waktu yang baik untuk proteksi gangguan adalah 0.3 detik untuk memenuhi keamanan pada manusia dengan berat paling minimal orang 50 Kg.

Melalui simulasi pada lampiran C table C.1. arus gangguan satu fasa ke tanah didapat besar arus gangguannya adalah 10,311 A. Untuk mendapatkan tegangan sentuh yang sesuai di hitung dengan rumus dibawah :

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 10,311 \times 5 \\ V &= 51,555 \text{ V} \end{aligned}$$

Dari hasil diatas nilai tegangan sentuh melebihi dari standar dari tahanan pentanahan yg di ukur paling tertinggi 5 Ω dan arus gangguan sebesar 10,311 A hasil tegangan sentuhnya ialah 51,555 V. Sedangkan perhitungan tegangan sentuh untuk berat badan 70 Kg adalah 998.29 V dan berat badan 50 Kg adalah 737.59 V. Untuk mencari tahanan pentanahan yang sesuai dengan perhitungan tegangan sentuh dilakukan perhitungan dibawah :

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 10,311 \times 0.0968 \\ V &= 998.1 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 10,311 \times 0.0715 \\ V &= 737.2 \text{ V} \end{aligned}$$

Tahanan yang paling cocok untuk tegangan sentuh berat 70 Kg adalah 0.0968 yang memenuhi standar 998.1 V hasil ini memenuhi standar karena nilai ini lebih kecil dari 998.29 V. Sedangkan Tahanan yang paling cocok untuk tegangan sentuh berat 50 Kg adalah 0.0715 yang memenuhi standar 737.2 V hasil ini memenuhi standar karena nilai ini lebih kecil dari 737.59 V.

Perhitungan Tegangan Langkah

Untuk jenis tanah disekitar Transformator Distribusi Fakultas Teknik adalah tanah berbatu tahanan jenis tanah nya ialah 3000 Ω .m, sedangkan untuk jenis tanah sekitar Transformator dibawah 15 cm adalah tanah liat dan tanah ladang dan tahanan jenis tanah nya ialah 100 Ω .m.

$$\begin{aligned} \rho &= 100 \Omega \cdot m \\ \rho_s &= 3000 \Omega \cdot m \\ h_s &= 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m} \\ t_f &= 0.5 \text{ det} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus 4 :

$$Cs = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2 h_s + 0.09}$$

$$Cs = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{100}{3000}\right)}{2 (0.15) + 0.09} = 0.777$$

Didapatkan faktor reduksi nilai resistifitas permukaan tanah adalah 0.777, maka perhitungan tegangan langkah untuk orang dengan berat 70 Kg, dengan menggunakan rumus 7 adalah:

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

$$\begin{aligned} Es_{70} &= (1000 + 6 Cs \times \rho_s) \times \frac{0.157}{\sqrt{t_f}} \\ Es_{70} &= (1000 + 6 \times 0.777 \times 3000) \times \frac{0.157}{\sqrt{0.5}} \\ &= 3,327.05 \text{ V} \end{aligned}$$

Selanjutnya, perhitungan tegangan langkah untuk orang dengan berat 50 Kg, dengan menggunakan rumus 8 :

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

$$\begin{aligned} Es_{50} &= (1000 + 6 Cs \times \rho_s) \times \frac{0.116}{\sqrt{t_f}} \\ Es_{50} &= (1000 + 6 \times 0.777 \times 3000) \times \frac{0.116}{\sqrt{0.5}} \\ &= 2458.2 \text{ V} \end{aligned}$$

Pada tegangan langkah untuk orang dengan berat maksimal 70 Kg didapat nilai 3327.05 V nilai ini telah memenuhi standar tegangan langkah yaitu 3500 V dengan lama gangguan 0.4 detik, sedangkan pada tegangan langkah untuk orang dengan berat maksimal 50 Kg didapat nilai 2458.2 V nilai ini telah memenuhi standar tegangan langkah yaitu 3140 V dengan lama gangguan 0.5 detik. Jadi, *setting* waktu yang baik untuk proteksi gangguan adalah 0.4 detik untuk memenuhi keamanan pada manusia dengan berat paling minimal untuk orang 50 Kg.

Melalui simulasi pada lampiran C table C.1. arus gangguan satu fasa ke tanah didapat besar arus gangguannya adalah 10,311 A. Untuk mendapatkan tegangan langkah yang sesuai di hitung dengan rumus dibawah :

$$\begin{aligned} V &= I \times R \\ V &= 10,311 \times 5 \\ V &= 51,555 \text{ V} \end{aligned}$$

Dari hasil diatas nilai tegangan langkah melebihi dari standar dari tahanan pentanahan yg di ukur paling tertinggi 5 Ω dan arus gangguan sebesar 10,311 A hasil tegangan langkahnya ialah 51,555 V. Sedangkan perhitungan tegangan langkah untuk

berat badan 70 Kg adalah 3,327.05 V dan berat badan 50 Kg adalah 2,458.2 V. Untuk mencari tahanan pentanahan yang sesuai dengan perhitungan tegangan langkah dilakukan perhitungan dibawah :

$$V = I \times R$$

$$V = 10,311 \times 0.3226$$

$$V = 3,326.32 \text{ V}$$

$$V = I \times R$$

$$V = 10,311 \times 0.2384$$

$$V = 2,458.1 \text{ V}$$

Tahanan yang paling cocok untuk tegangan langkah berat 70 Kg adalah 0.3226 Ω yang memenuhi standar 3,326.32 V hasil ini memenuhi standar karena nilai ini lebih kecil dari 3,327.05 V. Sedangkan Tahanan yang paling cocok untuk tegangan langkah berat 50 Kg adalah 0.2384 yang memenuhi standar 2,458.1 V hasil ini memenuhi standar karena nilai ini lebih kecil dari 2,458.2 V.

Perhitungan Rugi-rugi daya

Dilakukan pengukuran arus yang mengalir pada Penghantar Netral pada hari sabtu s/d senin tanggal 23 s/d 25 februari 2019.

Tabel 5. Data pengukuran arus yang mengalir pada penghantar netral pada hari Sabtu 23 februari 2019

Waktu	Arus Netral Transformator 1 (Ampere)	Arus Netral Transformator 2 (Ampere)
07.00	13.6	10.1
08.00	30.9	22.7
09.00	46.9	44.8
10.00	37.1	32.7
11.00	50	37.1
12.00	31	29.6
13.00	22.5	18.4
14.00	24.4	17.4
15.00	38	35.7
16.00	30.2	27.2
17.00	29.6	23,1
18.00	12.5	10.3

Dari tabel 5 pengukuran pada hari sabtu tanggal 23 februari 2019 didapatkan arus netral tertinggi pada trafo 1 terjadi pada pukul 11.00 wib sebesar 50 A. sedangkan arus netral tertinggi pada trafo 2 terjadi pada pukul 09.00 wib sebesar 44.8 A.

Tabel 6. Data pengukuran arus yang mengalir pada penghantar netral pada hari minggu 24 februari 2019

Waktu	Arus Netral Transformator 1 (Ampere)	Arus Netral Transformator 2 (Ampere)
07.00	12.1	10.5
08.00	37.8	24.6
09.00	39.9	37.5
10.00	33.1	22.4
11.00	39.3	37.3
12.00	28	21
13.00	41.1	40.8
14.00	24.5	19.3
15.00	44.5	35.9
16.00	29.2	22.1
17.00	15.4	11.3
18.00	10.9	10.3

Dari tabel 6 pengukuran pada hari minggu tanggal 24 februari 2019 didapatkan arus netral tertinggi pada trafo 1 terjadi pada pukul 15.00 wib sebesar 44.5 A. sedangkan arus netral tertinggi pada trafo 2 terjadi pada pukul 13.00 wib sebesar 40.8 A.

Tabel 7. Data pengukuran arus yang mengalir pada penghantar netral pada hari Senin 25 februari 2019

Waktu	Arus Netral Transformator 1 (Ampere)	Arus Netral Transformator 2 (Ampere)
07.00	15.2	10.4
08.00	35.5	29.9
09.00	50.3	42.7
10.00	49.6	40.6
11.00	55.3	51.7
12.00	48.8	44.3
13.00	59.7	49.2
14.00	53.5	44.9
15.00	43	39.6
16.00	30.2	31.1
17.00	29.5	28.9
18.00	14.1	11.7

Dari tabel 7 pengukuran pada hari senin tanggal 23 februari 2019 didapatkan arus netral tertinggi pada trafo 1 terjadi pada pukul 13.00 wib sebesar 59.7 A. sedangkan arus netral tertinggi pada trafo 2 terjadi pada pukul 11.00 wib sebesar 51.7 A.

Ukuran kawat yang digunakan penghantar netral trafo 1 x 300 mm² dengan R = 0.012 ohm kabel NYY. Pengukuran arus yang mengalir pada penghantar netral dilakukan pada hari sabtu s/d senin tanggal 23 s/d 25 februari 2019 didapatkan arus netral tertinggi pada transformator 1 adalah 59.7 A pada hari senin 25 februari 2019 pukul 13.00 wib, untuk mencari rugi rugi dengan menggunakan rumus 9 :

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 59.7^2 \times 0.012$$

$$P_N = 42.8 \text{ Watt}$$

Didapatkan arus netral tertinggi pada transformator 2 adalah 51.7 A pada hari senin 25 februari 2019 pukul 11.00 wib.

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 51.7^2 \times 0.012$$

$$P_N = 32 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan dengan arus yang mengalir pada penghantar netral tertinggi 59.7 A didapatkan *losses* untuk Transformator 1 adalah 42.8 watt, dan dengan arus yang mengalir pada penghantar netral tertinggi 51,7 A pada Transformator 2 *losses* nya adalah 32 watt, rugi rugi (*losses*) ini tidak melebihi standar yaitu ≤ 500 watt.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran tahanan pentanahan, perhitungan dan analisa Transformator Fakultas Teknik Universitas Riau dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu Tahanan pentanahan telah diukur selama tiga hari dimulai pada hari sabtu tanggal 23 februari 2019 sampai dengan hari senin 25 februari 2019 tahanan tertinggi nya yaitu 5 Ω tidak memenuhi standar dan tahanan pentanahan yang terendahnya ialah 1 Ω dinyatakan memenuhi standar yaitu $\leq 1 \Omega$. Tegangan sentuh manusia dengan tahanan pentanahan tertinggi 5 Ω saat arus gangguan dengan nilai 10,311 A adalah 51,555 V, nilai tersebut tidak memenuhi standar tegangan sentuh berat ± 70 Kg dengan nilai 998.29 V dan Tegangan sentuh manusia berat ± 50 Kg dengan nilai 737.59 V. Tegangan langkah manusia dengan tahanan pentanahan tertinggi 5 Ω saat arus gangguan dengan nilai 10,311 A adalah 51,555 V, nilai ini tidak memenuhi standar tegangan langkah manusia berat ± 70 Kg dengan nilai 3,327.05 V dan tegangan langkah manusia berat ± 50 Kg dengan nilai 2,458.2 V. Rugi-rugi (*losses*) untuk

Transformator I adalah 42.8 watt, dan untuk Transformator II 32 watt, nilai rugi rugi (*losses*) ini telah memenuhi standar yaitu ≤ 500 watt.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*, Badan Standarisasi Nasional (BSN), Jakarta.
- Hamid, M. K., Abubakar, S., 2016, *Sistem Pentanahan Pada Transformator Distribusi 20 kV di PT.PLN (Persero) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon*, Journal of Electrical Technology, Volume 1, No. 2, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Aceh Utara.
- IEEE, 2000, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*, New York
- Rahmadhani, C., 2017, *Studi Perancangan Sistem Pembumian Gardu Induk 150/20 kV Di Gardu Induk Garuda Sakti*, Jom FTEKNIK, Volume 4, No.1, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Rahmawati, Y., 2009, *Perancangan Sistem Pentanahan Netral Trafo Pada Gardu Trafo Tiang 20 kV Dengan Menggunakan Tahanan Tinggi*, Jurnal Tekno, Volume 11, Universitas Negeri Malang, Malang.
- Sumardjati, P., 2008, *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*, Depdiknas, Jakarta.
- Tanjung, A., 2015, *Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi Di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru*, Jurnal Sains Teknologi dan Industri, Volume 12, No.2, Universitas Lancang Kuning, Pekanbaru.