

PENGARUH SISTEM PENTANAHAN GARDU DISTRIBUSI TERHADAP TEGANGAN SENTUH

Dulhadi¹, Diah Suwarti Widyastuti², Indra Budhi Frebrianto³

^{1,2}Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

³PT. PLN (Persero) UP3 Cilacap ULP Cilacap Kota

Email : dulhadi@itny.ac.id

Abstrak

Sistem pentanahan pada gardu distribusi diperlukan untuk mengatasi terjadinya tegangan sentuh baik pada transformator maupun benda konduktor lain yang melekat padanya. Batas maksimal tegangan sentuh yang masih dianggap belum membahayakan manusia sebesar 50 volt (PUIL 2000). Salah satu terjadinya tegangan sentuh karena faktor sistem pentanahan yang tidak memenuhi syarat dan adanya aliran arus gangguan hubung singkat pada rangkaian tertutup. Kondisi ini berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya dan dapat menyebabkan kematian. Penelitian ini bertujuan membandingkan sistem pentanahan eksisting (Solid Grounding) dan Grid Grounding (baru) pada gardu distribusi untuk mengetahui sistem pentanahan tersebut aman bagi manusia. Metode yang digunakan adalah pengukuran pentanahan eksisting (Sistem Solid Grounding) dan pengukuran pentanahan pada sistem baru (Grid System Grounding) sejumlah 20 titik sistem terintegrasi. Data hasil pengukuran digunakan untuk menghitung besaran tegangan sentuh pada masing-masing sistem tersebut. Hasil penelitian kondisi pentanahan eksisting sebesar 5,056 ohm dapat menyebabkan tegangan sentuh sebesar 1013,906 Volt serta sistem grid dari hasil uji coba 20 titik didapat 0,16 Ohm dan tegangan sentuh sebesar 42,14 Volt. Kesimpulan yang didapatkan bahwa kondisi sistem pentanahan eksisting belum dapat memperkecil tingkat bahaya tegangan sentuh bagi manusia sedangkan sistem grid dapat mengamankan manusia dari bahaya tegangan sentuh.

Kata kunci: Sistem Pentanahan, Tegangan Sentuh, Trafo Distribusi.

Abstract

The grounding system at the distribution substation is needed to overcome the touch potential on the transformer or other conductor objects attached to it. The maximum limit of touch potential which is still considered not harmful humans is 50 volts (PUIL 2000). One of touch potential happen is due to the unqualified grounding system factor and the short circuit fault current flow in a closed circuit. This condition is harmful for humans who touch it and can cause death. This study aims to compare the existing (Solid Grounding) and the new grounding systems (Grid Grounding) at distribution substations and to find out that these grounding systems are safe for humans. The method used is the measurement of the existing ground (solid grounding) and the measurement in the new system (Grid System Grounding) with a total of 20 integrated system points. The measurement data is used to calculate the amount of touch potential in each of these systems. The results of the research, the existing 5.056 ohm grounding condition can cause a touch potential of 1013.906 volts, the grid system from the 20 point trial results obtained 0.16 Ohm and a touch potential of 42.14 volts. The conclusion is that the condition of the existing grounding system has not been able to minimize the level of touch potential harmful to humans, while the grid system can protect humans from the danger of touch potential.

Keywords: Grounding System, Touch Potential, Distribution Transformer.

1. Pendahuluan

Gardu/trafo distribusi milik PT. PLN (Persero) umumnya memiliki 2 tipe yang banyak digunakan pada pelanggan, yaitu: cantol dan portal. Letak pemasangan trafo distribusi pada tiang listrik baik pada tiang beton maupun besi dilengkapi dengan sistem pentanahan langsung satu tempat di dekat pondasi tiangnya. Dalam kondisi gangguan hubung singkat ke *body* trafo akibat adanya arus bocor pada belitan dan buruknya isolasi minyak trafo, maka tegangan akan beredar ke konduktor yang terhubung. Jika konduktor tersebut disentuh manusia, maka tegangan tersebut merambat ke tubuh manusia yang disebut sebagai tegangan sentuh. Jika arus mengalir pada tubuh manusia melebihi 50 mA, maka tegangan sentuh mulai dirasakan serta dapat menimbulkan kejutan bagi jantung atau dan dapat berdampak pada kematian, akan tetapi jika sistem pentanahan memenuhi persyaratan yang diizinkan oleh PT. PLN (Persero) kurang dari atau sama dengan 1 ohm, maka tegangan bocor pada belitan trafo distribusi tersebut sebagian besar dapat terbuang ke tanah, sehingga arus yang mengalir pada tubuh manusia menjadi sangat

kecil di bawah jauh 50 mA. Kondisi ini yang sering dikhawatirkan oleh para pekerja pemelihara trafo distribusi.

Persyaratan yang lazim digunakan oleh PT. PLN (Persero) sistem pentanahan pada gardu distribusi lebih kecil dari 1 Ohm sesuai dengan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2000 dan persyaratan lainnya tingkat bahaya tegangan sentuh menurut *International Electrical Commission* (IEC), yaitu: IEC449 dan IEC60479 tentang elektrikal menetapkan bahwa batas maksimal tegangan yang dianggap belum membahayakan bagi manusia adalah sebesar 50 Volt (untuk AC) dan 120 Volt (untuk DC). Parameter yang terpenting untuk memperkecil tegangan sentuh salah satunya adalah sistem *grid* pentanahan, dengan tujuan mendapatkan nilai pentanahan serendah mungkin atau mendekati nol. Hal ini belum pernah ada di seluruh gardu distribusi PT. PLN (Persero) karena alasan ekonomis.

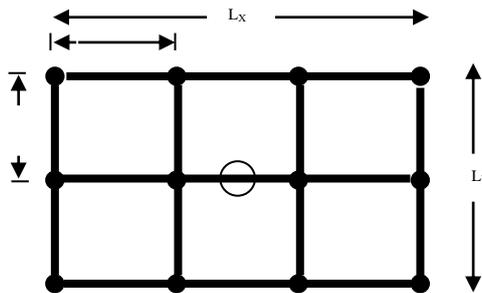
Penelitian yang dilakukan ini adalah melakukan uji coba perbandingan sistem pentanahan langsung dan sistem pentanahan *grid*, dengan tujuan mendapatkan perbandingan besaran nilai tahanan sistem pentanahan tersebut. Selain itu, juga untuk mengetahui tingkat bahaya tegangan sentuh bagi manusia.

2. Metode Penelitian

Pentanahan ada 2 macam, yaitu: pentanahan peralatan dan pentanahan titik netral sistem. Pentanahan titik netral sistem menghubungkan titik netral sistem ke tanah melalui penghantar baik menggunakan tahanan dan 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 [1].

Nilai tahanan pentanahan yang mendekati nilai sebenarnya akan berpengaruh besar terhadap rancangan sistem pentanahan. Hal tersebut menghasilkan rancangan yang lebih tahan lama, berumur panjang, dan mampu menahan arus gangguan yang berlebihan dengan efisien [2].

Perancangan *grid* yang dibentuk, terdiri dari: *grid* dengan pasangan rangkaian elektrode berjumlah 4, 8, 12, 16, dan 20 *copper Rod*, dengan bentuk *grid* seperti pada Gambar 1. Lokasi penelitian pada tiang GBG02-180-U118-T79 pada penyulang Gombong 02 sisi Jaringan Tegangan Rendah. Adapun tujuan dari sistem pentanahan *grid* ini adalah 1, melindungi manusia terhadap bahaya listrik adalah 2, dan menjamin kontinuitas peralatan sistem tenaga listrik adalah 3. Selain itu, menjamin beroperasinya peralatan proteksi ketika terjadi gangguan dan melakukan pemutusan pada area yang tidak mengalami gangguan [3].



Gambar 1. Bentuk *Grid* Pasangan 12 *Copper Rod*

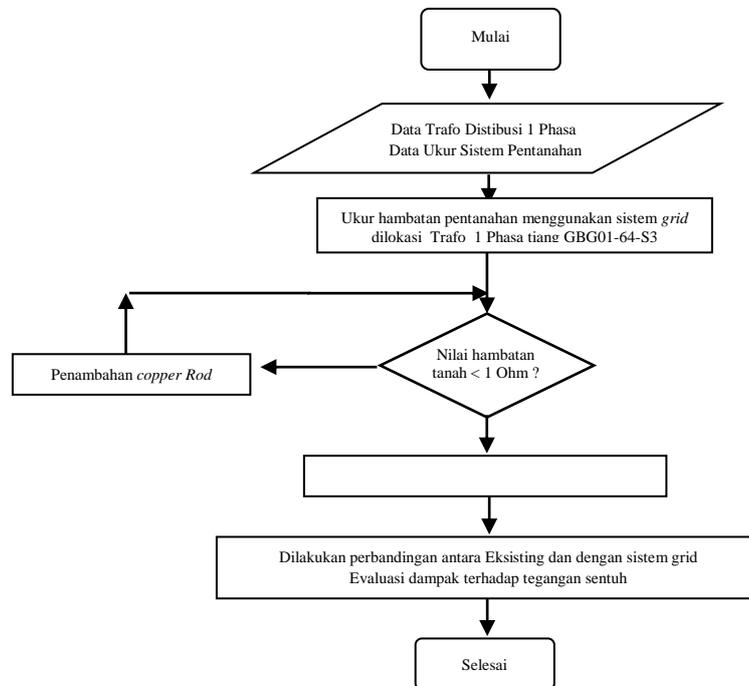
Sistem pentanahan *grid* umumnya dipasang pada Gardu Induk dan atau tower transmisi melalui desain jarak optimal pasangan *copper Rod*. Dengan berpedoman pada Gambar 1. di atas untuk mendapatkan desain yang optimal, dapat dilakukan dengan memenuhi fungsi biaya minimal sebagai berikut [4].

$$B(D, L_r) = \left(2\left(\frac{L_y + L_x}{D}\right) \cdot L_r \cdot C_r\right) + \left(2\left(\frac{L_y + L_x}{D}\right) \cdot C_r + (C_{ci} + C_c) \cdot \left(\left(\frac{L_x \cdot L_y}{D}\right) + L_y\right) + \left(\frac{L_y \cdot L_x}{D} + L_x\right)\right) \quad (1)$$

Nr: jumlah *ground rod*, Nx: jumlah konduktor *grid* arah X, Ny: jumlah konduktor *grid* arah Y, Lr: panjang tiap *ground rod* (m), Cri: biaya instalasi *ground rod* (Rp/m), Cr: biaya material konduktor rod (Rp/rod), Lc: panjang konduktor *grid* (m), Cci: biaya instalasi konduktor *grid* (Rp/m), Cc: biaya material

konduktor *grid* (R_p/m), L_x : panjang konduktor arah X (m), L_y : panjang konduktor arah Y (m), dan D : jarak konduktor *grid* (m).

Percobaan yang dilakukan dengan menerapkan jarak 1 meter antar *copper Rod*, dengan kedalaman 1 meter tertancap pada tanah. Hal ini dilaksanakan karena pertimbangan lokasi tempat uji yang optimal untuk dilaksanakan. Prosedur percobaan untuk mendapatkan data dan dilanjutkan analisis hasil percobaan yang dapat dilihat pada diagram alir, seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Prosedur Percobaan

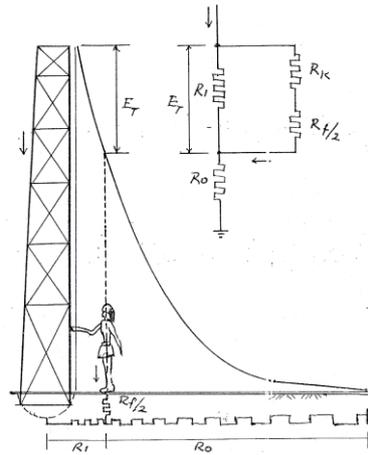


Gambar 3. a) Pengukuran Hambatan *Bushing* Sekunder Trafo Menggunakan Ohm Meter
b) Pengukuran Hambatan Sistem Pentanahan *Grid* (*Earth Tester*)

Tegangan sentuh adalah tegangan yang terdapat di antara suatu obyek yang disentuh dan suatu titik jarak 1 meter, dengan asumsi bahwa obyek yang disentuh dihubungkan dengan kisi-kisi pentanahan yang berada di bawahnya. Besar arus gangguan dibatasi oleh hambatan orang dan tahanan kontak ke tanah dari kaki orang tersebut (Gambar 4.). Nilai besaran tegangan sentuh dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$E_s = (R_k + R_f / 2) \cdot I_k \quad (2)$$

E_s : tegangan sentuh (Volt), R_k : hambatan badan orang (= 1000 Ohm), R_f : hambatan kontak ke tanah dari satu kaki pada tanah yang diberi lapisan koral 10 cm (= 3000 Ohm), dan I_k : besarnya arus yang melalui badan (dalam ampere) [4].

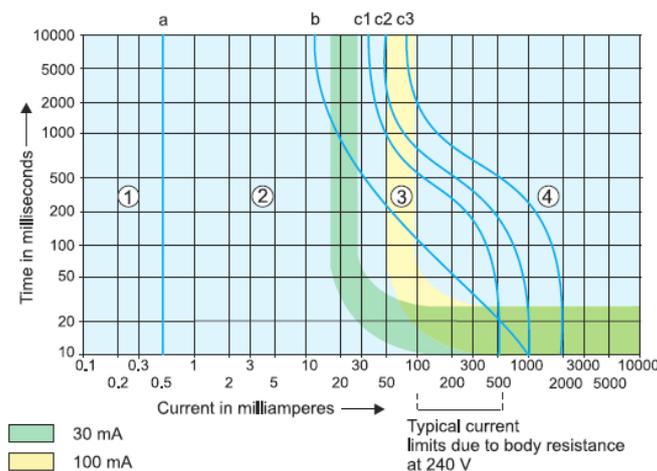


Gambar 4. Tegangan Sentuh dengan Rangkaian Penggantinya [4]

Rata-rata hambatan tubuh manusia adalah 1000 Ohm. Arus listrik maksimum yang dianggap aman untuk melewati tubuh manusia adalah 50mA. Berdasarkan hukum Ohm, dapat dilihat di bawah ini.

$$V \text{ (tegangan)} = I \text{ (arus)} \times R \text{ (hambatan tubuh)} = 50\text{mA} \times 1000 \text{ Ohm} = 50\text{Volt.}$$

Adapun ilustrasi arus listrik yang berbahaya terhadap tubuh manusia dijelaskan pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Arus Listrik terhadap Tubuh [5]

Dalam memperoleh impedansi yang rendah dari jalan balik arus hubung singkat ke tanah, kecelakaan pada beda potensial dapat terjadi pada saat hubung singkat ke tanah terjadi. Jika arus hubung singkat tersebut dipaksakan mengalir melalui impedansi tanah yang tinggi, maka akan menimbulkan perbedaan potensial yang besar dan berbahaya. Impedansi yang besar pada sambungan-sambungan pada rangkaian pentanahan juga dapat menimbulkan busur listrik dan pemanasan yang cukup besar dapat menyalakan material yang mudah terbakar. Bahaya-bahaya yang mungkin dapat ditimbulkan oleh tegangan/arus listrik terhadap manusia mulai dari yang ringan sampai yang paling berat adalah terkejut, pingsan, atau sampai mati [6].

Kemampuan tubuh manusia terbatas terhadap besarnya arus yang mengalir di dalamnya. Tetapi, berapa besar dan lamanya arus yang masih dapat ditahan oleh tubuh manusia sampai batas yang belum membahayakan sukar ditetapkan. Dalam hal ini, telah banyak diselidiki oleh para ahli dengan berbagai macam percobaan baik dengan tubuh manusia sendiri maupun menggunakan binatang tertentu. Dalam batas-batas tertentu di mana besarnya arus belum berbahaya terhadap organ tubuh manusia, telah diadakan berbagai percobaan terhadap beberapa orang sekarelawan yang menghasilkan batas-batas besarnya arus dan pengaruhnya terhadap manusia yang berbadan sehat. Hal tersebut seperti terlihat pada

Gambar 5. yang menjelaskan bahwa batas arus terhadap pengaruh pada tubuh dapat dibagi sebagai berikut [6].

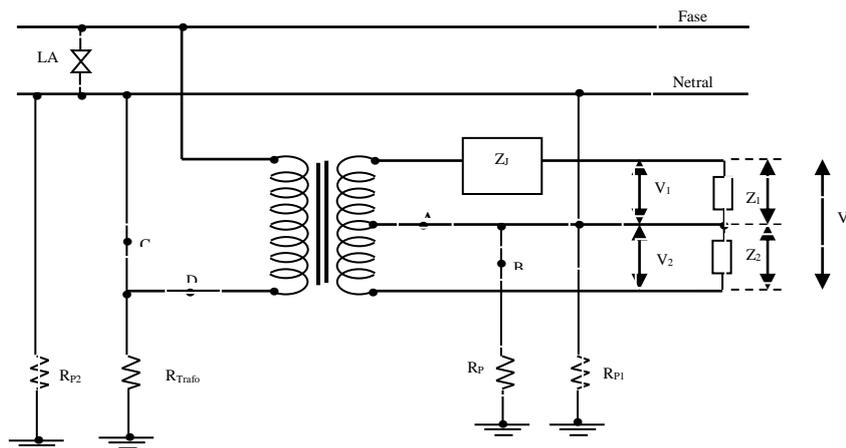
1. Arus mulai terasa atau persepsi (*perception current*).
2. Arus mempengaruhi otot (*let-go current*).
3. Arus mengakibatkan pingsan atau mati atau fibrilasi (*fibrillating current*).
4. Arus reaksi (*reaction current*).

Electrical Testing Laboratory New York pada tahun 1933 telah dilakukan pengujian terhadap 40 orang laki-laki dan perempuan. Dalam hal tersebut, didapatkan bahwa arus rata-rata yang disebut *threshold of perception current* pada laki-laki sebesar 1,1 mA dan perempuan sebesar 0,7 mA.

Pada *University of California School*, telah dilakukan penyelidikan terhadap 134 orang laki-laki dan 28 perempuan. Dalam hal tersebut, diperoleh bahwa angka rata-rata dari arus yang mempengaruhi otot pada laki-laki sebesar 16 mA dan perempuan sebesar 10,5 mA

Berdasarkan penyelidikan ini, telah ditetapkan batas arus maksimal. Orang masih dapat dengan segera melepaskan konduktor bila terkena arus listrik pada laki-laki sebesar 9 mA dan perempuan sebesar 6 mA.

Arus reaksi adalah arus yang terkecil yang dapat mengakibatkan orang menjadi terkejut. Hal tersebut cukup berbahaya karena dapat mengakibatkan kecelakaan sampingan. Dampak dari terkejut adalah orang dapat jatuh dari tangga dan melemparkan peralatan yang sedang dipegang yang dapat mengenai bagian-bagian instalasi bertegangan tinggi, sehingga dapat terjadi kecelakaan yang lebih fatal [6]. Analisis besaran tegangan sentuh pada rangkaian trafo distribusi yang sebenarnya pada kondisi di lapangan dan dalam pengoperasian transformator kondisi normal diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi Pengoperasian Transformator Kondisi Normal

3. Hasil dan Analisis

Hasil pengukuran *bushing* trafo distribusi terhadap tanah didapatkan data seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Sistem *Solid Grounding* (Eksisting)

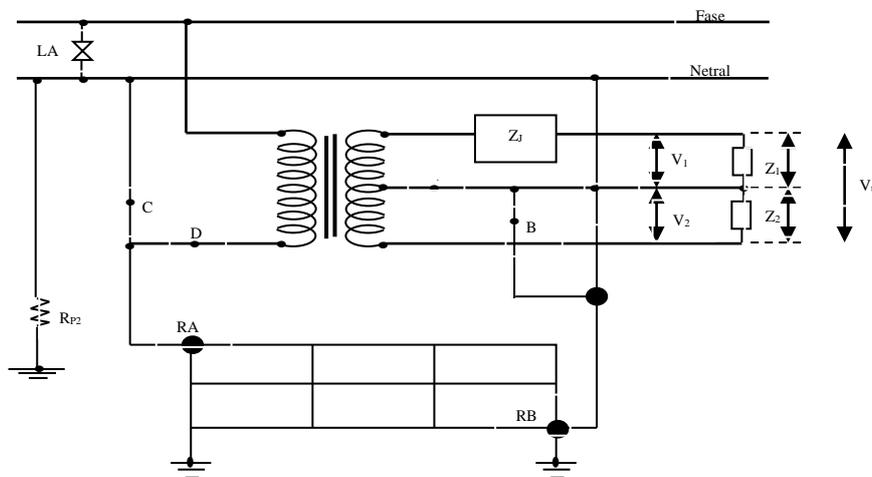
No.	Lokasi Tanah Pada tiang No.:	Hasil Pengukuran Hambatan Tanah (Ohm)		
		R _p	R _{p1}	R _{p2}
1.	GBG02-180-U118-T79	35,4	9,6	15,3

Adapun hasil pengukuran hambatan tanah sistem *grid* pada variasi jumlah *cooper Rod* didapatkan data sebagai berikut (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sistem Pentanahan *Grid* (Sistem Baru)

No.	Jumlah Cooper Rod	Hasil Pengukuran Hambatan Sistem Pentanahan <i>Grid</i> (Ohm)	
		RA	RB
1.	4	2,16	2,16
2.	8	1,35	1,35
3.	12	0,81	0,81
4.	16	0,49	0,49
5.	20	0,32	0,32

Hasil pengukuran hambatan pada sistem pentanahan *grid*, dengan memasang sistem pentanahan sebagai pengganti sistem pentanahan baik pada sisi primer trafo maupun sisi sekunder trafo dihasilkan seperti terlihat pada Tabel 2 di atas. Adapun rangkaian detail dari hubungan sistem pentanahan dengan transformator distribusi tersebut, diberikan rangkaian sistem dari Gambar 6 berubah menjadi Gambar 7 sebagai berikut.

**Gambar 7.** Sistem Pantanahan *Grid* pada Transformator Distribusi

3.1. Nilai Hambatan Pentanahan Eksisting (*Solid Grounding*)

Dengan mengacu pada Gambar 6, nilai hambatan total pada trafo dan hambatan tanahnya dihasilkan sebagai berikut.

$$R_t = \frac{R_{trafo} * R_{pl} * R_{p2}}{(R_{pl} * R_{p2}) + (R_{trafo} * R_{p2}) + (R_{trafo} * R_{pl})} \quad (3)$$

$$R_t = \frac{35,4 * 9,6 * 15,3}{(9,6 * 15,3) + (35,4 * 15,3) + (35,4 * 9,6)}$$

$$R_t = 5,056258 \text{ ohm}$$

3.2. Nilai Hambatan Pentanahan Sistem *Grid*

Dengan mengacu pada Gambar 7, nilai hambatan pentanahan sistem *grid* didapatkan dengan cara perhitungan dengan 12 *cooper Rod* sebagai berikut.

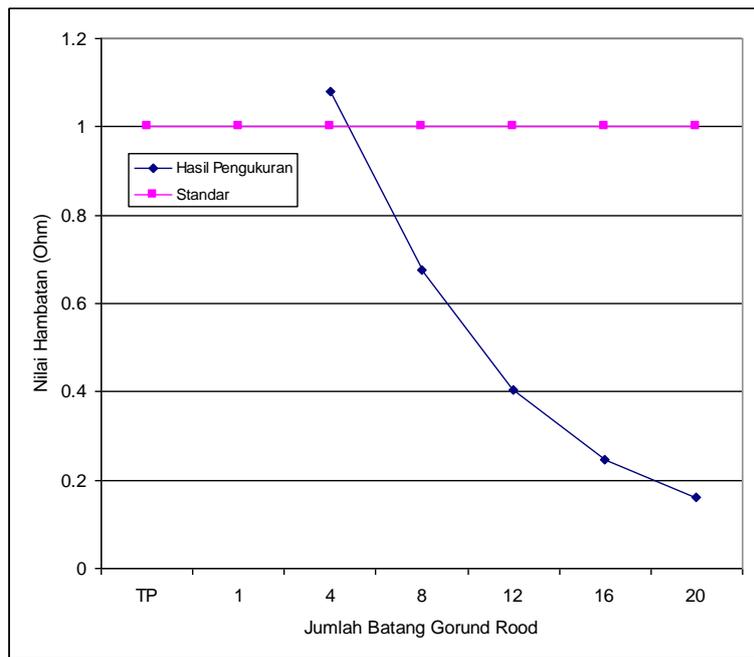
$$R_{t12} = \frac{RA * RB}{RA + RB} = \frac{0,81 * 0,81}{0,81 + 0,81} = 0,405 \text{ ohm}$$

Hasil perhitungan hambatan pentanahan sistem *grid* di lokasi Nomer Tiang GBG02- 180-T79 didapatkan nilai variatif hambatan seperti tertera pada Tabel 2 dan didapatkan nilai pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Hambatan Pentanahan Sistem *Grid* di Nomor Tiang GBG02-180-U118-T79

No.	Jumlah Cooper Rod	Hasil Perhitungan Hambatan Sistem Pentanahan <i>Grid</i> (Ohm)
1.	4	1,08
2.	8	0,675
3.	12	0,405
4.	16	0,245
5.	20	0,16

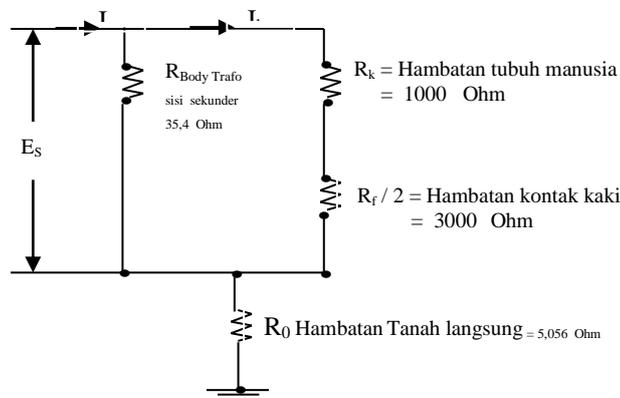
Grafik nilai hambatan pada sistem pentanahan transformator distribusi 1 fasa yang diizinkan sesuai dengan SPLN (< 1 Ohm) ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Nilai Hambatan Sistem Pentanahan *Grid*

3.3. Dampak terhadap Tegangan Sentuh Kondisi Eksisting (Sistem *Solid Grounding*)

Besaran tegangan sentuh pada *body* transformator dapat dirumuskan secara *thevenin* dan diilustrasikan seperti pada Gambar 9 sebagai berikut.



Gambar 9. Ilustrasi Rangkaian Hambatan untuk Perhitungan Tegangan Sentuh pada Manusia Pentanahan Eksisting

$$R_{eq} = \frac{35,6 * (1000 // 3000)}{35,6 + (1000 // 3000)} \quad R_{(1000 // 3000)} = \frac{1000 * 3000}{4000} = 750 \text{ Ohm}$$

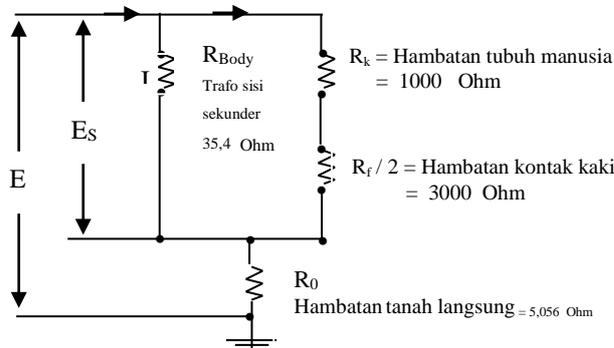
$$R_{eq} = \frac{35,4 * 750}{35,4 + 750} = 33,8044 \text{ Ohm}$$

$$R_t = 5,056 + 33,8044 = 38,86043 \text{ Ohm}$$

Berdasarkan data daya transformator 50 KVA, 20 KV/220 Volt, maka besar arus yang mengalir pada rangkaian tersebut sebagai berikut.

$$I = \frac{50000}{220 * 0,85} = 267,3797 \text{ A}$$

Dengan arus yang mengalir ke rangkaian tersebut, maka tegangan sentuh dapat dihitung berdasarkan rangkaian sebagai berikut.



$$E = I \times R_t = 267,3797 \times 38,86043 = 10390,49 \text{ Volt}$$

$$E_s = \frac{R_0}{R_t} \times E = \frac{5,056}{38,86043} \times 10390,49 = 1351,872 \text{ Volt}$$

Tegangan sentuh yang masuk pada tubuh manusia sebagai berikut.

$$E_{S1} = \frac{3000}{1000 + 3000} \times E_s = \frac{3000}{4000} \times 1351,872 \text{ Volt} = 1013,906 \text{ Volt} \approx 1014 \text{ Volt}$$

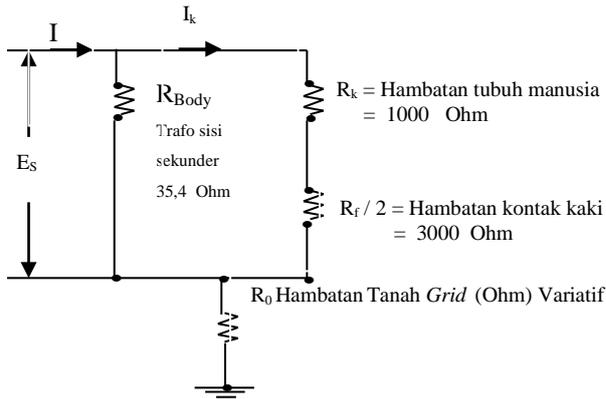
Arus yang masuk tubuh manusia sebagai berikut.

$$I_k = \frac{E_{S1}}{R_k} = \frac{1013,906}{1000} = 1,014 \text{ A} \approx 1014 \text{ mA}$$

Berdasarkan *International Electrical Commission* (IEC) menetapkan bahwa IEC449 dan IEC60479, besaran nilai 1014 Volt merupakan tegangan sentuh yang tidak diizinkan dan tidak aman untuk disentuh manusia. Adapun berdasarkan grafik pengaruh arus listrik terhadap tubuh pada Gambar 5, besaran nilai 1014 mA sudah pada area warna merah (ambang kedip) dan membahayakan untuk jantung.

3.4. Dampak terhadap Tegangan Sentuh Kondisi Sistem Pentanahan Grid

Besaran tegangan sentuh pada *body* transformator dapat dirumuskan dengan rangkaian thevenin sebagai berikut.



$$R_{eq} = \frac{35,6 * (1000 // 3000)}{35,6 + (1000 // 3000)} \quad R_{(1000 // 3000)} = \frac{1000 * 3000}{4000} = 750 \text{ Ohm}$$

$$R_{eq} = \frac{35,4 * 750}{35,4 + 750} = 33,8044 \text{ Ohm}$$

Tabel 4. Hasil Perhitungan Pentanahan *Grid*

No.	Jumlah Cooper Rod (Batang)	Nilai Tahanan (R_{eq}) (Ohm)	Tahanan Terukur (Sistem Grid) (Ohm)	Tahanan Total (R_t) (Ohm)
1.	4	33,8044	1,08	34,8844
2.	8	33,8044	0,675	34,4794
3.	12	33,8044	0,405	34,2094
4.	16	33,8044	0,245	34,0494
5.	20	33,8044	0,16	33,9644

Berdasarkan data daya transformator 50 KVA, 20 KV/220 Volt, didapatkan besar arus yang mengalir pada rangkaian tersebut sebagai berikut.

$$I = \frac{50000}{220 * 0,85} = 267,3797 \text{ A}$$

Dengan arus yang mengalir ke rangkaian tersebut, maka tegangan sentuh didapatkan seperti tertera pada Tabel 5.

Tabel 5. Besaran Arus yang Mengalir pada Tubuh

No.	Jumlah Cooper Rod (Batang)	Tahanan Terukur (R_0) (Ohm)	Tahanan Total (R_t) (Ohm)	Arus Rangkaian (I) (A)	Tegangan Sentuh Pada Body (E_S) (Volt)	Arus Masuk Body (I_k) (mA)
1.	4	1,08	34,8844	267,3797	212,39	212,39
2.	8	0,675	34,4794	267,3797	162,4332	162,4332
3.	12	0,405	34,2094	267,3797	107,44	107,44
4.	16	0,245	34,0494	267,3797	64,7	64,7
5.	20	0,16	33,9644	267,3797	42,14	42,14

Berdasarkan hasil perhitungan baik pada sistem pentanahan *solid grounding* maupun *grid*, maka dirangkum dalam Tabel 6 sebagai berikut.

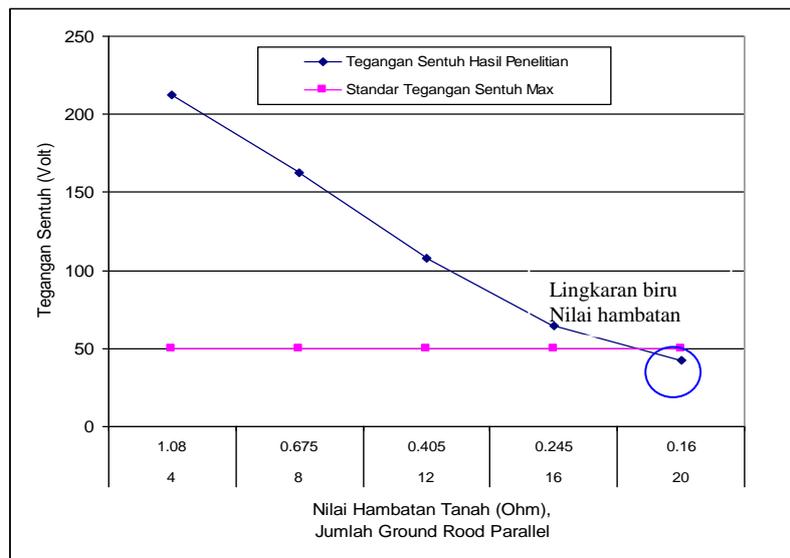
Tabel 6. Perbandingan Dampak Hambatan Tanah Eksisting dan Sistem *Grid*

No.	Jenis Pasangan	Nilai Hambatan Tanah (Ohm)	Tegangan Sentuh (Volt)	Arus Mengalir pada Tubuh (Mili Amp)	Menurut Badan IEC449, IEC60479, PUIL 2000	
					Batas Maksimal Tegangan Aman (< 50 Volt)	Pengaruh Arus Listrik terhadap Tubuh
1.	Langsung (Eksisting)	5,056	1.013,906	1.014	Berbahaya	Serangan Jantung
2.	Sistem <i>Grid</i>					
	<i>Cooper Rod 4</i>	1,08	212,4	212,4	Berbahaya	Berbahaya untuk Jantung
	<i>Cooper Rod 8</i>	0,675	162,43	162,43	Berbahaya	Tidak Berbahaya untuk Waktu Sentuh Maksimal 15 detik
	<i>Cooper Rod 12</i>	0,405	107,44	107,44	Berbahaya	Tidak Berbahaya untuk Waktu Sentuh Maksimal 80 detik
	<i>Cooper Rod 16</i>	0,245	64,7	64,7	Aman	Tidak Ada Reaksi
3.	<i>Cooper Rod 20</i>	0,16	42,14	42,14	Sangat Aman	Sangat Aman
	Tanpa Pentanahan	-	10.390,49	10.390	Sangat tidak Diizinkan untuk Menyentuh karena Sangat Berbahaya	Menyebabkan Kematian Langsung

Berdasarkan hasil perhitungan tentang tegangan sentuh yang diizinkan pada transformator distribusi, sistem pentanahan *grid* menggunakan *Ground Rod (cooper)* sejumlah 16 sudah aman dan sejumlah 20 batang *Ground Rod* yang dipasangkan secara *grid* akan sangat lebih aman. Oleh karena itu, pemasangan sistem pentanahan dengan sistem *grid* merupakan solusi dalam sistem pengamanan terhadap tegangan sentuh. Dalam memperjelas perolehan sistem *grid* terhadap tegangan sentuh, dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 10.

Tabel 7. Hubungan Nilai Hambatan Tanah terhadap Tegangan Sentuh dan Arus Mengalir pada Tubuh

Jumlah <i>Ground Rod</i>	Ro (Ohm)	Rt (Ohm)	Tegangan Sentuh (Volt)	Arus Mengalir pada Tubuh (mA)
4	1,08	34,8844	212,4	212,4
8	0,675	34,4794	162,43	162,43
12	0,405	34,2094	107,49	107,49
16	0,245	34,0494	64,7	64,7
20	0,16	33,9644	42,14	42,14

**Gambar 10.** Hubungan Jumlah *Ground Rod* terhadap Tegangan Sentuh

4. Kesimpulan

1. Sistem pentanahan eksisting nilai hambatan total sebesar 5,056 Ohm sistem *solid grounding*. Dengan nilai total hambatan tersebut, setelah dianalisis terhadap dampak tegangan sentuh dan besaran arus yang mengalir pada tubuh manusia sebesar 1014 mA dan tegangan sebesar 1014 Volt, maka masih dalam kategori membahayakan, terutama untuk jantung.
2. Apabila terjadi kegagalan sistem pentanahan pada transformator, terutama pada *ground rod* terlepas atau putus, maka hasil perhitungan nilai hambatan yang terhubung paralel terhadap hambatan tanah total menjadi besar sekitar 38,86 Ohm. Nilai hambatan tersebut berdampak pada tegangan sentuh yang besar dan arus yang mengalir pada tubuh manusia besar, yaitu: 10390,49 mA dan 10390 Volt. Dengan besarnya arus dan tegangan tersebut, berdampak terhadap manusia, yaitu: dapat mematikan secara langsung.
3. Solusi untuk memperkecil nilai hambatan sistem pentanahan, yaitu: dengan sistem *grid*. Sistem *grid* diterapkan dengan jumlah *Ground Rod* 20 batang dan ditanam sedalam 1 meter. Hasil perhitungan didapatkan nilai hambatan total sistem pentanahan *grid* sebesar 33,9644 Ohm. Dengan nilai hambatan total tersebut, terhitung tegangan sentuh sebesar 42,14 Volt dan arus yang mengalir pada tubuh manusia sebesar 42,14 mA. Besarnya nilai arus yang mengalir pada tubuh manusia termasuk ke dalam kategori aman.

Daftar Pustaka

- [1] Aidil Fitriyanto, Firdaus. Analisis Sistem Pentanahan Transformator Distribusi di Fakultas Teknik Universitas Riau. *Jom FTEKNIK*. 2019; 6; Edisi 1 Januari s/d Juni 2019.
- [2] Jamaluddin Kamal dan Syamsir Abduh. Perancangan Sistem Pentanahan Gas Insulated Switchgear 150 kV Pulogadung dengan Finite Element Method. *JETri*. 2018; 15(2); Februari 2018: 187-200; P-ISSN: 1412-0372; E-ISSN: 2541-089X.
- [3] Wahyu Zarniadi, Edy Ervianto. Analisa Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah di Gardu Induk 150 Kv Batu Besar Menggunakan Sistem Grid. *JOM FTEKNIK*. 2019; 6; Edisi 2 Juli s/d Desember 2019.
- [4] Gery Baldi, Harun Al Rasyid. Penilaian Tegangan Sentuh dan Tegangan Langkah di Gardu Induk Konvensional dan Berisolasi Gas. *Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*. 2014; 13(2); Desember 2014: 139-150; ISSN: 1978-2365.
- [5] Syukriyadin. Sistem Proteksi Arus Bocor Menggunakan Earth Leakage Circuit Breaker Berbasis Arduino. *Jurnal Rekayasa Elektrika*. 2016; 12(3); Desember 2016: 111-118.
- [6] Mustari Lamma. Perhitungan Tegangan Sentuh Menggunakan Tahanan Kontak Kaki dalam Sistem Pembumian pada Gardu Induk Cikupa. *Jurnal Teknologi Elektro*, Universitas Mercu Buana. 2012; ISSN: 2086-9479.

