

Analisa Perbandingan Efektivitas *Neutral Grounding Resistance* Dan *Solid Grounding* Dalam Proteksi Transformator Distribusi 1500 kVA

¹Khollid Syuhada, ²Aris Heri Andriawan, ³Reza Sarwo Widagdo

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

Jl. Semolowaru 45 Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

¹syuhada.khollid@gmail.com, ²aris_po@untag-sby.ac.id, ³rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

Abstract - One of the most common disturbances in electrical systems is a short circuit, particularly in single-phase-to-ground fault conditions. This study analyzes the effectiveness of two protection methods: Solid Grounding (SG) and Neutral Grounding Resistance (NGR). The SG system provides a direct, low-impedance path for fault current, enabling faster fault clearance but allowing high fault currents that can cause severe damage. In contrast, the NGR system limits fault current magnitude, thereby reducing the risk of transformer and system damage. Recent studies indicate that NGR implementation can significantly lower short-circuit currents and enhance system reliability, especially in large industrial facilities. Field measurements at PT. Boma Bisma Indra show that with an SG system having a ground resistance of 2 Ω , a single-phase-to-ground fault produces 945.28 A. Using NGR with resistances of 25, 50, 75, and 100 Ω , calculations reveal that a 100 Ω NGR reduces the fault current to 257.27 A, demonstrating a substantial improvement over the SG system in limiting fault current and protecting equipment.

Keywords — *Solid Grounding, Neutral Ground Resistance, Short Circuit Fault 1 Phase To Ground.*

Abstrak - Salah satu potensi gangguan yang sering terjadi pada sistem kelistrikan adalah hubung singkat, khususnya pada kondisi gangguan satu fasa ke tanah. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas sistem proteksi *Solid Grounding* (SG) dan *Neutral Grounding Resistance* (NGR). Sistem SG memberikan jalur arus yang cepat menuju tanah, namun menghasilkan arus gangguan yang tinggi sehingga berpotensi menimbulkan kerusakan pada transformator dan peralatan listrik. Sebaliknya, sistem NGR membatasi besarnya arus gangguan, sehingga dapat mengurangi risiko kerusakan dan meningkatkan keandalan sistem. Beberapa studi terkini menunjukkan bahwa penerapan NGR mampu menurunkan arus hubung singkat secara signifikan, terutama pada sistem kelistrikan skala industri besar. Berdasarkan data lapangan di PT. Boma Bisma Indra, sistem SG dengan tahanan tanah 2 Ω menghasilkan arus gangguan satu fasa ke tanah sebesar 945.28 A. Sementara itu, pada penerapan NGR dengan nilai tahanan 25, 50, 75, dan 100 Ω , hasil perhitungan menunjukkan bahwa NGR 100 Ω mampu menurunkan arus gangguan menjadi 257.27 A. Dengan demikian, penggunaan NGR 100 Ω terbukti jauh lebih efektif dalam membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah dibandingkan sistem SG.

Kata Kunci— *Solid Grounding, Neutral Ground Resistance, Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah.*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PT. Boma Bisma Indra merupakan perusahaan manufaktur yang berlokasi di Surabaya, dengan kebutuhan daya listrik yang tinggi untuk mendukung operasionalnya. Sistem kelistrikan perusahaan ini menggunakan transformator distribusi berkapasitas 1500 kVA yang menyalurkan tenaga listrik ke berbagai fasilitas produksi. Salah satu potensi gangguan yang dapat terjadi pada sistem kelistrikan adalah hubung singkat (*short circuit*), khususnya gangguan satu fasa ke tanah [1]. Gangguan ini dapat menyebabkan aliran arus yang sangat besar, sehingga berpotensi merusak transformator distribusi dan peralatan listrik lainnya apabila tidak dilindungi oleh sistem proteksi yang memadai [2].

Saat ini, PT. Boma Bisma Indra menerapkan sistem proteksi *Solid Grounding* (SG) untuk mereduksi arus yang terjadi ketika gangguan satu fasa ke tanah muncul. Dalam penelitian ini, sistem proteksi *Neutral Grounding Resistance* (NGR) akan dibandingkan dengan sistem SG untuk menentukan metode proteksi yang lebih optimal dalam membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah.

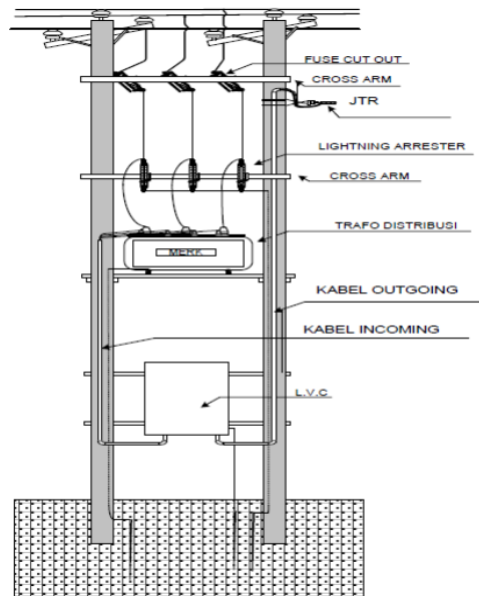
B. Penelitian Terkait

Penelitian yang dilakukan oleh Yusniati [11] mengenai sistem pentanahan NGR pada gardu induk menunjukkan bahwa saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah, arus gangguan dapat meningkat signifikan melebihi kapasitas NGR yang digunakan apabila sistem pentanahan tidak dioptimalkan. Temuan ini menegaskan pentingnya pengukuran dan penyesuaian nilai NGR untuk memastikan sistem proteksi berfungsi optimal dan meminimalkan risiko kerusakan akibat lonjakan arus. Hasil serupa diperoleh oleh Adi [12] dalam penelitiannya mengenai pengaruh gangguan arus lebih terhadap resistansi netral grounding di PT PLN. Penelitian tersebut menemukan bahwa arus gangguan yang besar dapat melampaui batas yang telah ditetapkan oleh sistem NGR, sehingga diperlukan pengawasan dan pengujian berkala untuk menjaga kinerja sistem serta melindungi peralatan. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Suryani [13] pada transformator daya di Gardu Induk Lamhotma membuktikan bahwa penerapan NGR mampu menghambat aliran arus gangguan ke tanah. Namun, hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada saat gangguan satu fasa ke tanah, arus yang mengalir tetap berpotensi melebihi batas pengaturan NGR jika nilainya tidak disesuaikan dengan tepat. Temuan ini menegaskan bahwa penentuan nilai NGR yang akurat sangat krusial untuk mencegah kerusakan peralatan dan meningkatkan efektivitas pengendalian arus gangguan.

C. Kajian Pustaka

1. Transformator Distribusi

Transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Jenis yang umum digunakan adalah transformator step-down dengan spesifikasi 20 kV/400 V. Perlu dicatat bahwa pada sistem jaringan tegangan rendah, tegangan fase-ke-fase nominal adalah 380 V. Untuk mengantisipasi terjadinya penurunan tegangan (voltage drop), tegangan pada sisi tegangan rendah umumnya diatur sedikit di atas 380 V. Pengaturan ini bertujuan memastikan bahwa tegangan pada titik beban terjauh tetap berada pada atau di atas nilai nominal tersebut [3].



Gambar 1. Transformator Distribusi

a. Daya Hubung Singkat Transformator

Daya Hubung Singkat Transformator transformator. Untuk menghitung impedansi dalam ohm, gunakan rumus [4]:

$$KVA_{hs} = \sqrt{3} \times KV_{L-L} \times I_{hs} KVA \quad (1)$$

Keterangan:

KV_{L-L} : Tegangan Sekunder Line to Line.

$I_{hs} KVA$: Arus Hubung Singkat Transformator.

b. Impedansi Transformator

Impedansi transformator biasanya diberikan dalam persentase (%Z) pada nameplate transformator [5]. Untuk menghitung impedansi dalam ohm, gunakan rumus:

$$Z_t = \frac{\%Z}{100} \times Z_d \quad (2)$$

Keterangan:

%Z : Impedansi transformator dalam persentase.

Z_d : Impedansi dasar transformator

c. Impedansi Dasar

Impedansi beban dapat dihitung menggunakan daya dan tegangan beban [6]. Rumusnya adalah:

$$Z_d = \frac{KV_{dasar}^2}{KVA_{dasar}} \quad (3)$$

Keterangan:

KV^2 : Tegangan beban (Volt).
 KVA_{dasar} : Daya nominal transformator (VA).

d. Impedansi Sumber

Impedansi sumber dapat dihitung menggunakan data short-circuit capacity (SCC) dari sistem [7]. rumusnya adalah:

$$Z_s = \frac{KV_{L-L}}{KVA_{hs}} \quad (4)$$

Keterangan:

KV_{L-L} : Tegangan sistem (dalam volt).
 KVA_{hs} : Daya nominal transformator (dalam VA)

e. Reaktansi Transformator Urutan Positif

Reaktansi transformator urutan positif, rumusnya adalah:

$$X_t = Z_t \times Z_d \quad (5)$$

Keterangan:

Z_t : Impedansi Transformator.
 Z_d : Impedansi Dasar.

f. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Untuk mendapatkan nilai absolut dari impedansi total, gunakan rumus:

$$Z_{1eki} = Z_{2eki} = Z_d + Z_s \quad (6)$$

Keterangan:

Z_{1eki} : Impedansi Urutan Positif.
 Z_{2eki} : Impedansi Urutan Negatif.

g. Reaktansi Transformator Urutan Nol

Reaktansi transformator urutan nol menggunakan rumus:

$$X_0 = 3 \times X_t \quad (7)$$

Keterangan:

X_t : Reaktansi Transformator Urutan Positif.

h. Impedansi Urutan Nol

Impedansi Urutan Nol

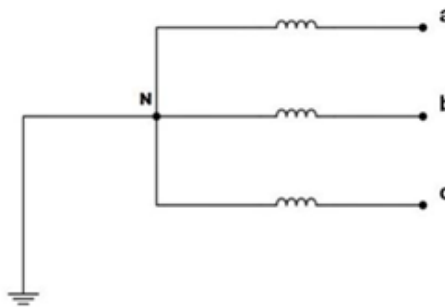
$$Z_{0eki} = X_0 + (3 \times 0,7) \quad (8)$$

Keterangan:

X_0 : Reaktansi Transformator Urutan Nol

2. Pentanahan Langsung (*Solid Grounding*)

Sistem pentanahan langsung (*Solid Grounding*) merupakan salah satu metode pentanahan di mana titik netral pada sistem tiga fasa dihubungkan secara langsung ke tanah melalui konduktor dengan resistansi dan reaktansi yang relatif dapat diabaikan. Dalam konfigurasi ini, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, setiap fasa yaitu fasa a, fasa b, dan fasa c terkoneksi melalui konduktor masing-masing, sementara titik netral (N) terhubung secara langsung ke tanah [8]. Pendekatan ini memungkinkan penyaluran arus gangguan ke tanah secara efektif, sehingga meningkatkan perlindungan sistem terhadap kejadian hubung singkat dan meminimalkan fluktuasi tegangan fase.

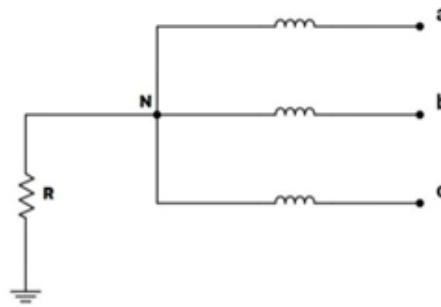


Gambar 2. Rangkaian Pengganti Pentanahan Lansung (*Solid Grounding*)

Ketika terjadi gangguan pada fasa a, tegangan pada fasa tersebut akan mengalami penurunan secara langsung hingga mendekati nol. Sebaliknya, tegangan pada fasa b dan fasa c, yang tidak terpengaruh oleh gangguan, tetap stabil dan tidak menunjukkan kenaikan selama periode gangguan. Gangguan fasa ke tanah semacam ini berpotensi menimbulkan pemadaman listrik, sehingga tindakan proteksi melalui pemutusan aliran listrik oleh pemutus sirkuit menjadi sangat penting. Sistem pentanahan langsung dirancang untuk memastikan bahwa tegangan antara fasa yang mengalami gangguan dan fasa normal tetap terkendali, sehingga kestabilan operasional sistem tetap terjaga selama terjadinya gangguan fasa ke tanah [9].

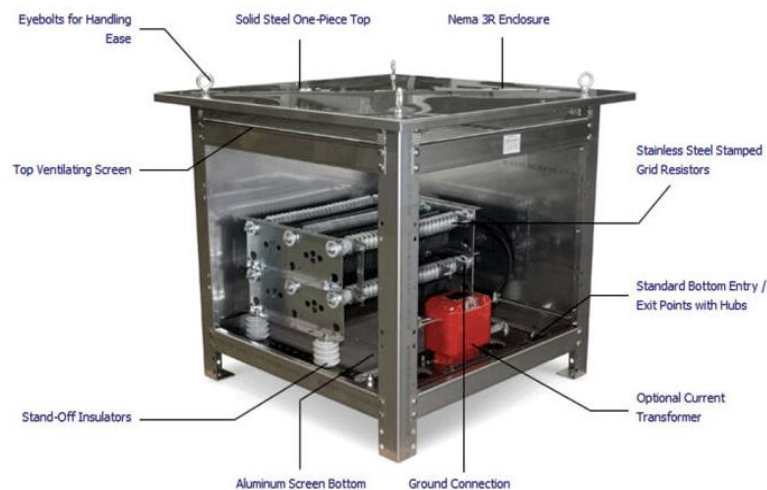
3. Pentanahan Melalui Tahanan (*Neutral Grounding Resistance*)

Sistem pentanahan melalui tahanan adalah metode pentanahan di mana titik netral dihubungkan ke tanah menggunakan resistor. Pada Gambar 3, terlihat tiga fasa yaitu fasa a, b, dan c yang masing-masing terhubung melalui konduktor, sementara titik netral (N) dihubungkan ke tanah melalui resistor R [10].



Gambar 3. Rangkaian Pengganti Pentanahan Melalui Tahanan (*Neutral Grounding Resistance*)

Penentuan nilai resistansi pada sistem pentanahan sangat penting untuk memastikan kinerja sistem yang optimal. Jika nilai resistansi terlalu kecil, arus gangguan dapat meningkat secara signifikan, berpotensi merusak peralatan. Sebaliknya, resistansi yang terlalu besar akan membatasi aliran arus gangguan ke tanah, sehingga sistem proteksi mungkin tidak bekerja efektif [14].



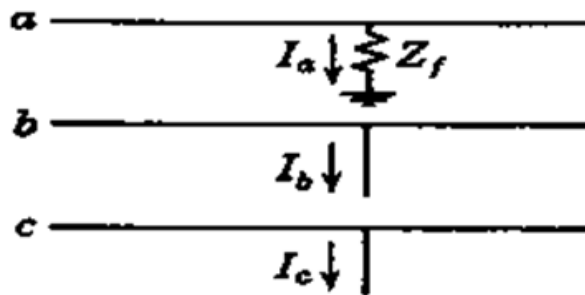
Gambar 4. Bagian dari NGR (*Neutral Grounding Resistance*)

Pada Gambar 4, sistem *Neutral Grounding Resistance* (NGR) terdiri dari beberapa komponen utama, salah satunya adalah resistor yang berfungsi untuk membatasi besarnya arus saat terjadi gangguan. Kehadiran resistor ini memungkinkan pengendalian aliran arus ke tanah, sehingga mencegah terjadinya lonjakan arus yang berlebihan. Namun, perlu dicatat bahwa resistor tersebut juga menimbulkan disipasi daya pada jalur pentanahan. Secara umum, metode pentanahan titik netral dibagi menjadi empat jenis, antara lain: *resistance grounding*, *reactor grounding*, *effective grounding*, serta *resonant grounding* yang memanfaatkan reaktor dengan impedansi tertentu atau kumparan Petersen (*Petersen coil*) [15].

4. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Gangguan satu fasa ke tanah terjadi ketika salah satu fasa dalam sistem tenaga listrik mengalami hubungan singkat dengan tanah. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya percikan api serta kerusakan pada inti besi transformator atau peralatan lainnya. Kerusakan seperti ini dikategorikan sebagai gangguan serius yang membutuhkan sistem proteksi yang handal untuk menjaga keselamatan dan menjaga kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Oleh karena itu, sistem proteksi harus mampu mendeteksi dan memutus aliran arus gangguan

secara cepat dan akurat. Penggunaan metode pentanahan yang tepat juga sangat penting untuk membatasi besar arus gangguan sehingga meminimalkan potensi kerusakan.



Gambar 5. Rangkaian Pengganti Gangguan 1Ø ke Tanah

Analisis arus hubung singkat akibat hubungan langsung ke tanah pada transformator dengan jenis pentanahan *Solid Grounding*, dengan tegangan pada belitan primer 20 kV dan tegangan pada belitan sekunder 400 V, dilakukan untuk menghitung nilai arus yang mengalir saat terjadi gangguan. Analisis ini sangat penting untuk memahami karakteristik gangguan, sekaligus menjadi dasar perancangan sistem proteksi yang tepat. Dengan demikian, perhitungan ini berperan krusial dalam menjaga keamanan operasional serta meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki}} \quad (9)$$

Keterangan:

- $I_{hs} 1_{fasa}$: Arus gangguan akibat hubung singkat satu fase ke tanah (A).
- V_{L-L} : Tegangan fase terhadap fase dalam sistem 20 kV.
- Z_{1eki} : Impedansi urutan positif (Ω).
- Z_{2eki} : Impedansi Urutan Negatif (Ω).
- Z_{0eki} : Impedansi urutan nol (Ω).

II. METODE PENELITIAN

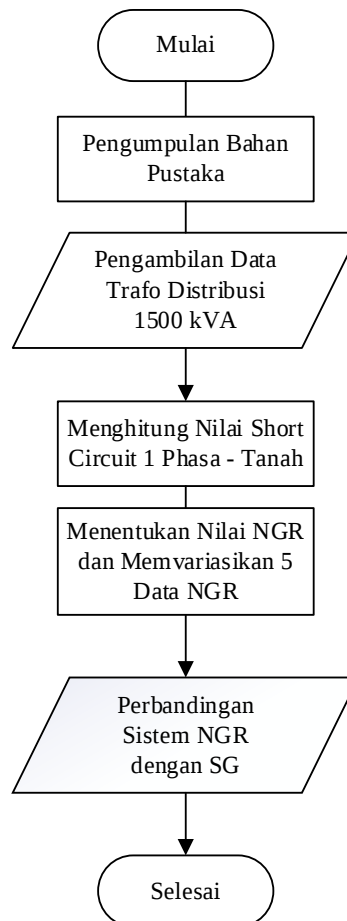
A. Diagram Alir

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Januari hingga April di PT. Boma Bisma Indra (Persero), yang beralamat di Jalan KH. Mas Mansyur No. 229, Nyamplungan, Kecamatan Pabean Cantikan, Surabaya, Jawa Timur. Fokus utama penelitian adalah melakukan pengukuran pada sisi sekunder transformator untuk memperoleh data awal yang diperlukan dalam perhitungan arus hubung singkat satu fase ke tanah. Tujuan penelitian ini mencakup penentuan besarnya arus hubung singkat pada sistem *Solid Grounding* (SG) maupun *Neutral Grounding Resistance* (NGR), serta analisis efektivitas kedua sistem pentanahan tersebut dalam menjaga kestabilan dan keamanan operasional sistem tenaga listrik.

Penelitian ini bertujuan membandingkan dan menentukan sistem pentanahan yang lebih efektif dalam meningkatkan keandalan dan keamanan sistem tenaga listrik. Proses penelitian dilakukan secara terstruktur, dimulai dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teori yang kuat. Selanjutnya dilakukan pemodelan sistem guna merepresentasikan kondisi lapangan, dilanjutkan dengan perhitungan matematis berdasarkan data yang diperoleh, serta pengumpulan data hasil pengukuran di lokasi penelitian. Tahap analisis dilakukan untuk mengevaluasi

perbedaan kinerja antara sistem *Solid Grounding* dan *Neutral Grounding Resistance*, kemudian diakhiri dengan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil perhitungan dan analisis tersebut.

Keseluruhan proses penelitian ini dirancang untuk menghasilkan solusi dan rekomendasi teknis terkait sistem pentanahan yang optimal. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam perancangan dan pengoperasian sistem tenaga listrik, khususnya dalam pemilihan metode pentanahan yang aman dan efisien. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi industri maupun kalangan akademisi dalam memahami pengaruh metode grounding terhadap besarnya arus gangguan dan kestabilan sistem tenaga listrik.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

B. Objek Penelitian

Objek penelitian adalah transformator distribusi 1500 kVA di PT. Boma Bisma Indra Surabaya dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:



Gambar 7. Name Plate Transformator

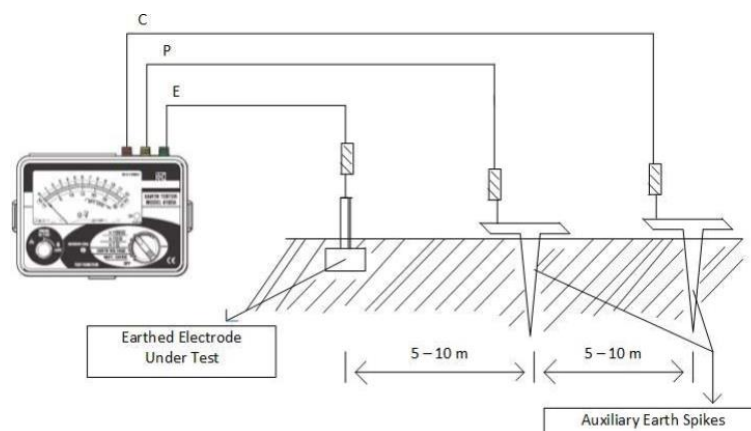
Tabel 1. Spesifikasi Transformator Distribusi 1500 kVA

Parameter	Nilai
Kapasitas	1500 kVA
Tegangan Primer (HV)	20 kV
Tegangan Sekunder (LV)	400 V
Frekuensi	50 Hz
Arus Primer (HV)	43.30 A
Arus Sekunder (LV)	2165 A
Impedansi Transformator	6%
Jumlah Fasa	3 Fasa

C. Pengambilan Data

Untuk mengukur tegangan dan resistansi, cara pengukurannya hampir serupa dengan multimeter yakni dengan memakai probe yang dicolokkan ke terminal COM berwarna hitam dan terminal positif yang berwarna merah.

- Mengambil data Tahanan *Solid Grounding* Menggunakan Earth Tester.



Gambar 8. Metode Pengukuran dengan Earth Tester

Cara kerja pengukuran tahanan grounding dilakukan dengan menancapkan beberapa batang logam (stick atau tongkat) ke dalam tanah pada jarak 5 hingga 10 Meter antar batang. Setelah batang tertanam, kabel berwarna merah dihubungkan ke batang yang paling jauh, sedangkan kabel berwarna kuning dihubungkan ke batang yang paling dekat dengan objek uji. Selanjutnya, kabel berwarna hijau dihubungkan ke objek uji. Ketiga kabel tersebut kemudian dihubungkan ke alat pengukur tahanan grounding, dengan kabel merah ke terminal C, kabel kuning ke terminal P, dan kabel hijau ke terminal E pada alat. Setelah semua kabel terpasang, selektor pada alat diatur ke pengukuran 20 ohm, lalu tombol “*press test*” ditekan. Alat pengukur akan mendeteksi dan menampilkan nilai tahanan grounding yang diukur [16].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Besar Arus Hubung Singkat 1 Phasa

Kapasitas transformator pada PT. Boma Bisma Indra sebesar 1500 kVA dengan tegangan sisi primer 20.000 V (20 KV) tegangan sekunder 400 V serta memiliki impedansi di 6%, untuk menentukan besar arus hubung singkat 1 Phasa ke tanah dihitung menggunakan cara berikut:

a. Untuk mencari nilai daya hubung singkat transformator dengan persamaan (1).

$$KVA_{hs} = (\sqrt{3} \times KV_{L-L}) \times I_{hs} KVA$$

$$KVA_{hs} = (\sqrt{3} \times 20) \times 721,6$$

$$KVA_{hs} = 24.999 \approx 25 KVA$$

Hasil dari perhitungan nilai daya hubung singkat transformator yaitu 25 KVA, selanjutnya perhitungan akan fokus menggunakan sisi primer transformator.

b. Impedansi Dasar Transformator

Untuk mencari nilai impedansi dasar transformator menggunakan persamaan (3):

$$Z_d = \frac{KV_{dasar}^2}{KVA_{dasar}}$$

$$Z_d = \frac{20^2}{1500}$$

$$Z_d = 0.2666 \text{ Ohm}$$

c. Impedansi Transformator

Setelah mengetahui nilai impedansi dasar transformator yaitu 0,2666 Ohm. Untuk menentukan nilai impedansi transformator menggunakan persamaan (2):

$$Z_t = \frac{\%Z}{100} \times Z_d$$

$$Z_t = \frac{6}{100} \times 0.2666 \text{ Ohm}$$

$$Z_t = 0.06 \times 0.2666 \text{ Ohm}$$

$$Z_t = 0.016 \text{ p.u.}$$

e. Reaktansi Transformator Urutan Positif

Untuk mencari nilai reaktansi transformator urutan positif menggunakan persamaan (5):

$$\begin{aligned}X_t &= Z_t \times Z_d \\X_t &= 0.0016 \times 0.2666 \\X_t &= 0.004266 \text{ Ohm}\end{aligned}$$

f. Impedansi Sumber Transformator

Setelah mengetahui nilai reaktansi transformator yaitu 0,004266 Ohm. Untuk menentukan nilai impedansi sumber transformator menggunakan persamaan (4):

$$\begin{aligned}Z_s &= \frac{KV^2}{KVA_{hs}} \\Z_s &= \frac{20}{25} \\Z_s &= 16 \text{ Ohm}\end{aligned}$$

g. Impedansi Urutan Positif dan Negatif

Untuk mencari nilai impedansi urutan positif dan negatif menggunakan persamaan (6):

$$\begin{aligned}Z_{1eki} &= Z_{2eki} = Z_d + Z_s \\Z_{1eki} &= Z_{2eki} = 0.2666 + 16 \\Z_{1eki} &= Z_{2eki} = 16.2666 \text{ Ohm}\end{aligned}$$

h. Reaktansi Transformator Urutan Nol

Untuk mencari nilai reaktansi transformator urutan nol menggunakan persamaan (7):

$$\begin{aligned}X_0 &= 3 \times X_t \\X_0 &= 3 \times 0.004266 \\X_0 &= 0.01280 \text{ Ohm}\end{aligned}$$

i. Impedansi Transformator Urutan Nol

Setelah mengetahui nilai reaktansi transformator urutan nol yaitu 0.01280 Ohm. Untuk menentukan nilai impedansi transformator urutan nol menggunakan persamaan (8):

$$\begin{aligned}Z_{0eki} &= X_0 + (3 \times 0.7) \\Z_{0eki} &= 0.01280 + 2.1 \\Z_{0eki} &= 2.1128 \text{ Ohm}\end{aligned}$$

j. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Setelah mengetahui nilai urutan positif, negatif dan nol, lalu bisa menentukan nilai gangguan satu fasa ke tanah menggunakan persamaan (9):

$$\begin{aligned}I_{hs} 1_{fasa} &= \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki}} \\I_{hs} 1_{fasa} &= \frac{3 \times \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}} \right)}{16.2666 + 16.2666 + 2.1128}\end{aligned}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3x \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}} \right)}{32.5333 + 2.1128}$$

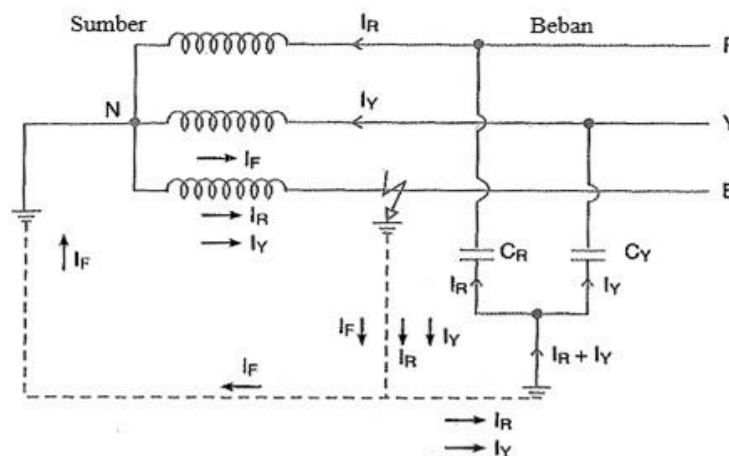
$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{34.646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 999.85 \text{ A}$$

Menurut perhitungan diatas arus hubung singkat satu phasa ke tanah pada transformator distribusi di PT. Boma Bisma Indra Surabaya adalah 999.85 Ampere.

B. Analisa Sistem Menggunakan Solid Grounding

Untuk mengetahui nilai tahanan SG (*Solid Grounding*) yaitu dengan melakukan pengukuran langsung dengan menggunakan earth tester. Setelah dilakukan pengukuran dengan earth tester didapat nilai 2,0 Ohm.



Gambar 9. Rangkaian Ekuivalen *Solid Grounding* Saat Terjadi Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pada Gambar 9 bisa dilihat saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Ketika terjadi gangguan pada fasa B arah arus akan berubah mengarah ke tanah dan akan kembali ke netral transformator, pada fasa R dan Y juga akan berubah mengarah ke transformator tidak lagi ke beban. Jika di sistem *Solid Grounding* (SG) saat terjadi gangguan arus yang mengalir akan melewati tahanan tanah sebesar 2 Ohm dan kembali netral transformator.

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3x(V_{L-L}/\sqrt{3})}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki} + R_{SG}}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3x \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}} \right)}{16,2666 + 16,2666 + 2,1128 + 2}$$

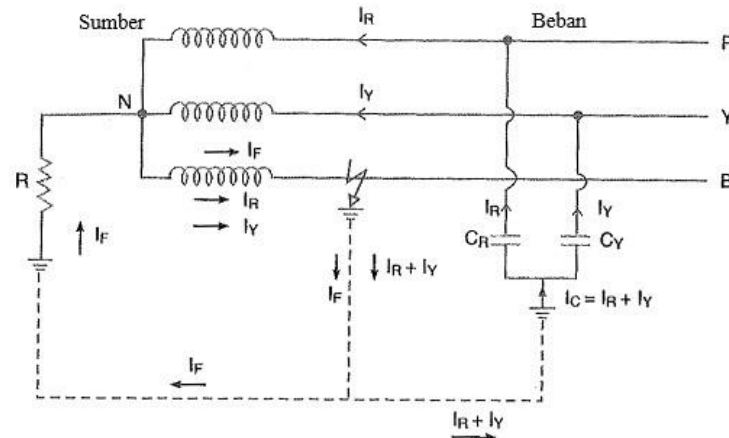
$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{36,646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 945,28 \text{ A}$$

Setelah mengetahui nilai gangguan satu fasa ke tanah menggunakan persamaan (9). Hasil perhitungan diatas menambahkan tahanan 2 Ohm dari sistem *Solid Grounding*.

C. Analisa Sistem Menggunakan *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

Setelah tahanan tanah *Solid Grounding* diketahui yaitu 2 Ohm sekarang untuk menganalisa nilai arus gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, dan tiga fasa ke tanah dengan menggunakan 4 data *Neutral Ground Resistance* 25, 50, 75, 100 Ohm dan ditambahkan tahanan tanah *Solid Grounding* yaitu 2 Ohm.



Gambar 10. Rangkaian Ekuivalen NGR Saat Terjadi Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Pada Gambar 10 bisa dilihat saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. Ketika terjadi gangguan pada fasa B arah arus akan berubah mengarah ke tanah dan akan kembali ke netral transformator, pada fasa R dan Y juga akan berubah mengarah ke transformator tidak lagi ke beban. Jika di sistem NGR saat terjadi gangguan arus yang mengalir akan melewati tahanan tanah sebesar 2 Ohm dan resistor pada sistem NGR yaitu 25, 50, 75, dan 100 Ohm lalu kembali ke netral transformator. Gangguan satu fasa ke tanah melalui NGR:

1. Data 25 Ohm

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki} + R_{NGR} + R_{SG}}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}} \right)}{16.2666 + 16.2666 + 2.1128 + 25 + 2}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{61.646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 561.93 \text{ A}$$

2. Data 50 Ohm

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki} + R_{NGR} + R_{SG}}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}} \right)}{16.2666 + 16.2666 + 2.1128 + 50 + 2}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{86.646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 399.79 \text{ A}$$

3. Data 75 Ohm

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}} \right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki} + R_{NGR} + R_{SG}}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}}\right)}{16.2666 + 16.2666 + 2.1128 + 75 + 2}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{111.646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 310.27 \text{ A}$$

4. Data 100 Ohm

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{V_{L-L}}{\sqrt{3}}\right)}{Z_{1eki} + Z_{2eki} + Z_{0eki} + R_{NGR} + R_{SG}}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{3 \times \left(\frac{20.000}{\sqrt{3}}\right)}{16,2666 + 16,2666 + 2,1128 + 100 + 2}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = \frac{34.641,01}{136.646}$$

$$I_{hs} 1_{fasa} = 253.50 \text{ A}$$

Tabel 2. Hasil Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah melalui NGR

Gangguan	NGR (Ohm)			
	25 Ohm	50 Ohm	75 Ohm	100 Ohm
1 Fasa ke Tanah	561.93 A	399.79 A	310.27 A	253.50 A

D. Hasil Perhitungan

Dari Hasil perhitungan diatas telah dinilai besaran hubung singkat transformator, reaktansi transformator, impedansi sumber transformator, urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol.

Tabel 3. Perbandingan Arus Gangguan Hubung Singkat dengan SG dan NGR

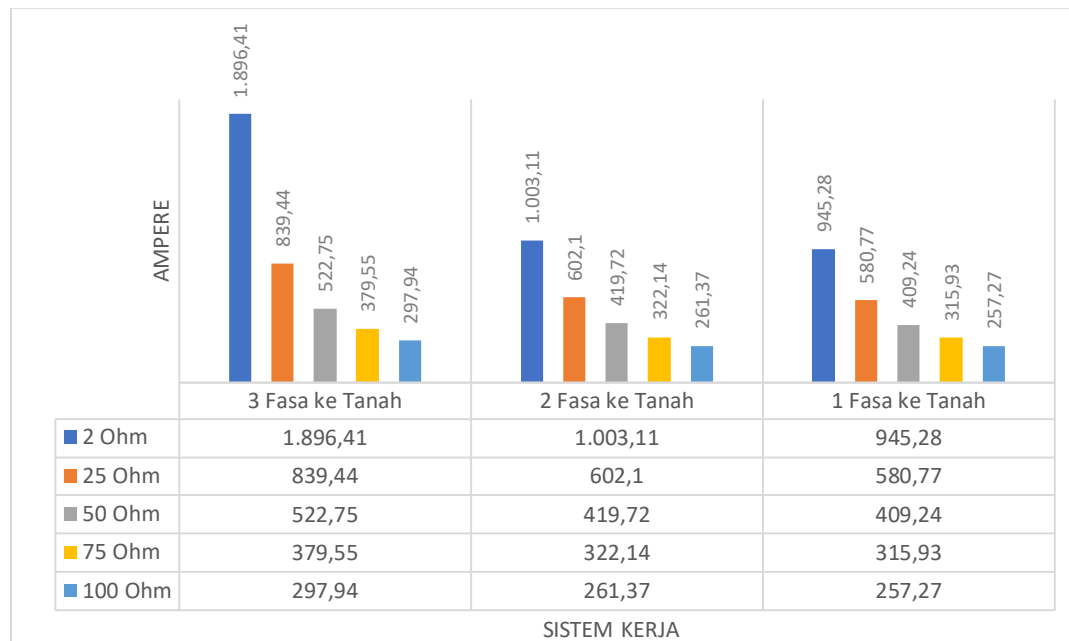
Gangguan	SG		NGR		
	2 Ohm	25 Ohm	50 Ohm	75 Ohm	100 Ohm
1 Fasa ke Tanah	945.28 A	561.93 A	399.79 A	310.27 A	253.50 A

E. Analisa Efektivitas *Solid Grounding* dan *Neutral Grounding Resistance*

Dalam sistem *Solid Grounding*, titik netral transformator dihubungkan langsung ke tanah tanpa menggunakan hambatan. Sedangkan pada sistem *Neutral Grounding Resistance* (NGR), titik netral transformator dihubungkan ke tanah melalui suatu tahanan atau resistor. Saat terjadi hubung singkat ke tanah, arus gangguan akan mengalir melalui jalur yang tidak direncanakan, yaitu tanah, yang dapat menimbulkan bahaya bagi personel maupun peralatan. Menurut IEEE Std. 142-2007, tidak terdapat nilai arus spesifik untuk kasus ini karena besarnya arus yang mengalir sangat bergantung pada beberapa faktor, seperti tegangan sistem, hambatan sistem, jenis pentanahan, dan jenis hubung singkat.

Secara umum, arus hubung singkat ke tanah yang besar berpotensi menimbulkan dampak serius, sehingga pada sistem perlu dilengkapi dengan sistem pengaman yang memadai untuk mengurangi risiko kegagalan serta bahaya bagi personel dan peralatan. Dari perspektif ekonomis, sistem pentanahan *Solid Grounding* cenderung lebih efisien dibandingkan sistem NGR. Berdasarkan data yang tersedia, arus hubung singkat ke tanah tertinggi terjadi pada sistem pentanahan *Solid Grounding* dalam operasi sistem tiga fasa, yakni sebesar 1.896,41 A. Namun, fokus pembahasan dalam penelitian ini adalah hubung singkat satu fasa ke tanah, di mana arus gangguan pada sistem SG tercatat sebesar 945.28 A. Nilai ini tergolong sangat tinggi dan berpotensi membahayakan personel maupun peralatan di sekitarnya.

Sebaliknya, arus hubung singkat ke tanah terendah ditemukan pada sistem pentanahan NGR dalam kondisi gangguan satu fasa, yakni sebesar 257.27 A, yang dapat dikategorikan relatif rendah jika dibandingkan dengan data lainnya. Untuk mempermudah pemahaman, perbandingan nilai arus gangguan tersebut disajikan pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Perhitungan Efektifitas NGR Terhadap Besarnya Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa sistem *Neutral Grounding Resistance* (NGR) lebih protektif dalam membatasi arus hubung singkat satu fasa ke tanah dibandingkan sistem *Solid Grounding* (SG). Perhitungan menunjukkan bahwa besarnya arus hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem SG mencapai 945.28 A, sedangkan pada sistem NGR hanya sebesar 257.27 A, menunjukkan kemampuan NGR dalam mengurangi risiko kerusakan peralatan dan meningkatkan keselamatan operasional sistem tenaga listrik. Dalam pencarian nilai tahanan NGR yang paling efektif, dilakukan analisis terhadap empat nilai tahanan yaitu 25, 50, 75, dan 100 Ohm. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tahanan sebesar 100 Ohm mampu meredam arus hubung singkat satu fasa ke tanah menjadi nilai terkecil, yaitu 257.27 A. Sistem transformator 1500 KVA di PT. Boma Bisma Indra saat ini menggunakan pentanahan langsung atau disebut juga dengan istilah *Solid Grounding* (SG) dengan tahanan 2 Ohm, yang secara teknis masih tergolong baik karena berada di bawah 5 Ohm. Namun, terdapat kekhawatiran bahwa saat transformator beroperasi dalam kondisi beban penuh dan terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah secara langsung, arus yang besar sebesar 945.28 A dapat membahayakan peralatan dan personel. Sebaliknya, penggunaan sistem pentanahan NGR dengan tahanan 100 Ohm dapat secara signifikan mereduksi arus gangguan tersebut menjadi 257.27 A, sehingga memberikan perlindungan yang lebih optimal. Oleh karena itu, penerapan sistem NGR sangat direkomendasikan untuk meningkatkan keamanan dan keandalan operasional transformator.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Effendi, A., & Teknik Elektro, J. (2014). Studi Analisa Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah Pada SUTT 150 kV untuk Setting Relay OCR (Aplikasi GI PIP-Pauh Limo). In Jurnal Teknik Elektro ITP (Vol. 3, Issue 2).

-
- [2] Santoso, M. , & U. G. (2022). Evaluasi Sistem Grounding Solid pada Sistem Distribusi Listrik Industri. *Jurnal Teknik Elektro*, 14(2), 119–127.
 - [3] Hidayat, F. , & R. S. (2021). Perhitungan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Industri. *Jurnal Teknologi Listrik*, 22(3), 200–208.
 - [4] Wijaya, T., & Andriani, A. (2020). Pengaruh NGR terhadap Pengurangan Arus Hubung Singkat pada Sistem Distribusi Listrik. *Jurnal Energi Dan Proteksi*, 5(1), 45–52.
 - [5] D. Kurniawan, & M. Arifin. (2022). Analisis Penggunaan NGR pada Sistem Grounding pada Trafo Distribusi. *Jurnal Teknik Energi*, 8(4), 130–136.
 - [6] H. Adi, & N. Lestari. (2023). Perbandingan Efektivitas NGR dan SG pada Sistem Kelistrikan Industri Besar. *Jurnal Proteksi Sistem Kelistrikan*, 10(2), 75–83.
 - [7] F. Pratama, & D. Suryanto. (2021). Perancangan Sistem Proteksi untuk Mengurangi Kerusakan akibat Hubung Singkat pada Trafo Distribusi. *Jurnal Rekayasa Listrik*, 11(1), 95–102.
 - [8] Reza G, Aris H, & Muhammadiyah A. (2021). Coordination Analysis of Overcurrent Relays (OCR) and Directional Ground Relays (DGR) for Transformer Protection at Segoromadu Substation, Gresik. *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, 1(1), 1–14. <https://jitel.polban.ac.id/jitel>
 - [9] Tharo, Z., Sampe, A., & Banjarnahor, D. (2023). Performance of Neutral Grounding Resistance and Solid Grounding on 60 MVA Power Transformer. *International Journal of Research In Vocational Studies (IJRVOCAS)*, 2(4), 86-93. <https://doi.org/10.53893/ijrvocas.v2i4.172>
 - [10] Sampe, A., Mangopo, D., M.Ohee, E., Wuri Oktaviani, T., Aryo P.B.Bay, J., & Tandi Sole, V. (2023). Analisa Penggunaan NGR (*Neutral Grounding Resistance*) Pada Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV di Gardu Induk Skyline. *Jurnal Teletronic*, 1(1), 50–55.
 - [11] Yusniati. (2018). Analisa Gangguan Arus Lebih Terhadap Kondisi Netral Grounding Resistance Aplikasi PT PLN (Persero) Gardu Induk Lamhotma. *Jurnal Rekayasa Elektrikal dan Energi (RELE)*, 1(1), 16-20. <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.2257>.
 - [12] Adi, H., & Lestari, N. (2021). Analisis Pengaruh NGR terhadap Pengurangan Arus Hubung Singkat pada Sistem Kelistrikan Industri. *Jurnal Energi dan Proteksi*, 5(1), 101-108.
 - [13] Suryani, R., Santoso, E., & Wijaya, F. (2020). Pengaruh Gangguan Arus Lebih pada Sistem Netral Grounding Resistance di Gardu Induk. *Jurnal Teknologi Elektro*, 14(2), 45-52. *Transformator Elektronik (Solid State Transformer)*
 - [14] B. Sihotang and I. Handajadi, “Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi 20 Kv Rayon Yogyakarta,” *J. Elektr.*, vol. 2, no. 2, pp. 43–43, 2015.
 - [15] Imanuel Israel Rumondor, Glanny M. Ch. Mangindaan, Sartje Silimang (2022). Analisa Sistem Pentanahan pada Trafo Distribusi di Universitas Sam Ratulangi. *Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado*, 95115
 - [16] Widagdo, R. S., Budiono, G., Slamet, P., Andriawan, A. H., Wardah, I. A., & Rafi, S. A. (2024, September). Identification of Distribution Transformer Reliability Using the Weibull Approach at the Customer Service Unit Taman, Surabaya. In *2024 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs)* (pp. 92-96). IEEE.