

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v8i3.1864>

Analisis Kualitas Tahanan Isolasi Pada Transformator Dengan *Preventive Maintenance* di Gardu Induk Garuda Sakti

Randra Agustio Efyansah^{1*}, Zulfatri Aini¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, Jl. HR. Soebrantas No.KM. 15, Pekanbaru, 28293

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: 11850510505@students.uin-suska.ac.id

Abstract – Transformers work around the clock to maintain the stability of power distribution to the community. If inspections and maintenance are not done, it will cause problems such as disturbances and damage, one of which is a disturbance in transformer insulation resistance caused by high operation factors, temperature, leakage current, and equipment age that can cause a decrease or damage in insulation quality. Therefore, it is important to do regular maintenance, one of which is through preventive maintenance as an effort to know the quality of insulation resistance on transformers. In this study, preventive maintenance was carried out which includes four methods, namely polarization index, tangent delta, breakdown voltage, and voltage ratio, which are useful for knowing the feasibility of insulation resistance quality with the established standards and next preventive steps. This research took data at Garuda Sakti Main Substation, the data included testing data from polarization index, tangent delta, breakdown voltage, and voltage ratio. The results of the discussion were obtained in transformer 1 and 3 were still within the allowed standard, but there were some parts of transformer insulation that experienced a decrease in quality and preventive maintenance needs to be done. The preventive maintenance step from the deterioration of the polarization index is that cleaning between windings is needed to minimize deterioration. In the breakdown voltage, further examination is needed, such as purifying in order to increase the dielectric strength of oil in the transformer.

Abstrak – Transformator bekerja sepanjang hari untuk menjaga kestabilan penyaluran tenaga listrik hingga ke masyarakat, jika kurang dilakukannya pengecekan dan perawatan akan menimbulkan permasalahan seperti gangguan dan kerusakan, salah satunya gangguan pada tahanan isolasi transformator yang ditimbulkan oleh faktor operasi yang tinggi, temperatur, arus bocor, serta usia peralatan yang dapat mengakibatkan kualitas isolasi menurun atau rusak. Maka penting dilakukan pemeliharaan rutin salah satunya dengan preventive maintenance sebagai upaya mengetahui kualitas tahanan isolasi pada transformator. Dalam penelitian ini, dilakukannya preventive maintenance yang mencakup empat metode yaitu indeks polarisasi, tangen delta, breakdown voltage, dan rasio tegangan yang berguna untuk mengetahui kelayakan kualitas tahanan isolasi dengan standar yang ditetapkan dan langkah preventive selanjutnya. Penelitian ini mengambil data di Gardu Induk Garuda Sakti, data tersebut meliputi data pengujian dari indeks polarisasi, tangen delta, breakdown voltage, dan rasio tegangan. Hasil pembahasan didapatkan pada transformator 1 dan 3 masih berada di batas standar yang diizinkan, namun terdapat beberapa bagian isolasi transformator yang mengalami penurunan kualitas dan perlu dilakukan tindakan preventive maintenance. Langkah preventive maintenance dari kerusakan pada Indeks polarisasi yaitu perlu dilakukan pembersihan antara belitan meminimalisir terjadi kerusakan. Pada breakdown voltage pemeriksaan lebih lanjut seperti melakukan pemurnian guna meningkatkan kembali kekuatan dielektrik minyak pada transformator.

Keywords - Transformer, Isolation Resistance, Preventive Maintenance, Polarization Index.

PENDAHULUAN

Kebutuhan terhadap energi listrik dengan berjalannya hari terus meningkat karena kemajuan teknologi dan taraf hidup masyarakat yang semakin bertambah. Tenaga listrik saat ini telah menjadi kebutuhan utama bagi konsumen [1]. Dengan peranan tenaga listrik yang semakin penting di dalam kehidupan sehari-hari, maka ketersediaan tenaga listrik harus terus stabil, oleh karena itu dibutuhkan perawatan terhadap komponen-komponen sistem tenaga listrik supaya kemampuannya tetap terjaga, karena kualitas penyaluran terhadap kebutuhan tenaga listrik ditentukan oleh kemampuan dari komponen pada proses penyaluran tenaga listrik [2].

Gardu induk adalah suatu fasilitas yang digunakan untuk mengatur penyaluran energi listrik dari sumber energi ke beberapa jaringan distribusi. Gardu induk terdiri dari beberapa komponen di dalamnya seperti transformator, *switchgear*, dan peralatan kontrol yang digunakan untuk mengatur arus listrik dan tegangan serta melindungi jaringan dari gangguan. Gardu induk juga digunakan untuk memisahkan jaringan distribusi dari sistem transmisi utama [2].

Salah satu komponen terpenting dalam gardu induk bagi penyaluran tenaga listrik adalah transformator. Fungsi transformator dalam sistem tenaga listrik yaitu untuk mengubah dan memindahkan energi listrik bolak balik (AC) dengan cara menaikkan atau menurunkan tegangan dari suatu nilai ke nilai yang lain. Transformator bekerja berlandaskan prinsip induktansi elektromagnetik, arus bolak balik yang melewati kumparan kawat akan menciptakan medan magnet. Dan *output* energi listrik dari transformator tersebut yang akan disalurkan ke konsumen [3].

Transformator beroperasi sepanjang hari untuk menjaga kestabilan penyuplaian energi listrik hingga ke konsumen. Oleh karena itu, transformator harus terus dijaga kestabilannya, salah satu cara dengan mengetahui kondisi kualitas isolasi transformator dengan *preventive maintenance* [4].

Preventive maintenance merupakan salah satu dari kebijakan dalam pemeliharaan sebagai upaya meminimalisir terjadinya gangguan serta menjaga komponen agar beroperasi dengan baik. *Preventive maintenance* pada transformator salah satunya dilakukan dengan tujuan mengetahui keadaan kualitas tahanan isolasi dalam kondisi baik atau mengalami gangguan. Adapun manfaat dari

preventive maintenance ini yaitu dapat memperpanjang usia trafo, menjaga kehandalan trafo, mendeteksi dini apabila terdapat gangguan pada trafo, meningkatkan keamanan serta mengurangi resiko munculnya kerusakan atau kegagalan pada trafo [5]. Dengan adanya *preventive maintenance* yang dilaksanakan secara rutin dan terjadwal dapat mengatasi resiko gangguan yang bisa terjadi serta mampu meningkatkan kualitas dan efisiensi dalam penyaluran tenaga listrik, sehingga peralatan dapat bekerja secara optimal dalam menyalurkan energi listrik [6].

Permasalahan yang peneliti angkat dalam penelitian ini adalah bagaimana mengetahui kualitas dari tahanan isolasi pada transformator di Gardu Induk Garuda Sakti yang diakibatkan oleh temperatur, arus bocor, usia peralatan serta aspek lingkungan dan standar yang berlaku serta langkah-langkah *preventive maintenance*-nya. Gardu Induk Garuda Sakti mempunyai 4 unit transformator dengan daya masing-masing sebesar 60 MVA 150/20 kV. Pada penelitian ini peneliti mengambil dari 2 sampel pengujian tahanan isolasi yakni pada transformator 1 dan 3 Gardu Induk Garuda Sakti.

Pada Penelitian [7] dalam mengetahui kualitas tahanan isolasi dengan menggunakan tiga metode diantaranya, indeks polarisasi, tangen delta, dan *breakdown voltage*. Pada penelitian ini mendapatkan hasil perhitungan indeks polarisasi sebesar 1,26 untuk nilai terendah dan tertinggi bernilai 1,97 dalam keadaan baik. Pengujian tangen delta mendapatkan rata-rata dalam keadaan baik berada dibawah 0,5% dan dihasil tangen delta dibagian CHT mengalami pemburukan senilai - 0,07%. Pada pengujian *breakdown voltage* mendapatkan hasil untuk minyak bawah dan OLTC dalam keadaan masih baik dan tidak perlu dilakukan adanya pergantian minyak.

Dalam Penelitian [8] untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi menggunakan dua metode yaitu tangen delta dan rasio tegangan, pada hasil tangen delta didapatkan nilai CHL di transformator IP 254-T02, mengalami kerusakan karena melewati standar yang ditetapkan yaitu diatas 0,5%. Pengujian pada transformator IP 254-T20 sebesar 0,144 masih rendah dari 0,5 yang menyatakan kualitas isolasinya masih baik. Dari hasil pengujian rasio tegangan pada trafo IP 954 -T01 dengan posisi tap 3 memperoleh nilai 0,288% deviasi masih dibawah 0,5, sedangkan pada trafo UP 254 -T02 di posisi tap 3 memperoleh nilai sebesar 1,440% yang mana besar dari 0,5 sehingga mengidentifikasi mengalami pemburukan.

Penelitian [9] melakukan dua metode untuk mendapatkan nilai dari kualitas tahanan isolasi transformator yaitu indeks polarisasi dan tangen delta. Dari penelitian ini mendapatkan hasil pada nilai indeks polarisasi (IP) disisi primer–sekunder sebesar 1,1 dengan standar *range* indeks polarisasi 1,1-1,25 sehingga transformator berada pada kondisi kurang baik. Pada tahun 2018 setelah diadakan pemeliharaan dan perbaikan nilai IP dibagian primer–sekunder naik menjadi 1,23 transformator beroperasi dalam keadaan baik tanpa perlu pengawasan berkala terhadap isolasinya. Pada pengujian tangen delta mendapatkan hasil tahanan isolasi yang bagus dengan nilai rata-rata sebesar 0,39% berada pada standar pengujian 0,5% yang diizinkan.

Berdasarkan penelitian terkait, pengembangan pada penelitian ini yaitu menggunakan empat metode diantaranya indeks polarisasi, tangen delta, *breakdown voltage*, dan rasio tegangan sehingga dapat mengetahui kualitas isolasi transformator lebih akurat.

Pengujian terhadap tahanan isolasi ini penting dilakukan karena dapat mencegah arus bocor pada belitan yang dapat menimbulkan terjadinya gangguan sehingga dapat mengakibatkan kerusakan pada transformator. Isolasi berguna dalam memisahkan dua bagian yang bertegangan serta mencegah terjadinya hubung singkat antar kumparan dalam transformator. Isolasi yang rentan mengalami kerusakan dikarenakan oleh beberapa hal seperti kelembaban, operasi yang tinggi, temperatur, arus bocor, aspek lingkungan serta usia peralatan yang dapat mengakibatkan kualitas isolasi menurun atau rusak [6].

Maka dari itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas tahanan isolasi pada transformator berdasarkan standar yang ditetapkan serta langkah-langkah preventive maintenance untuk mencegah penurunan kualitas tahanan isolasi di Gardu Induk Garuda Sakti sehingga transformator dapat bekerja dengan efektif dan penyaluran energi listrik ke konsumen tetap terjaga.

METODE

Tempat dan waktu

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Garuda Sakti pada bulan Juni 2022 – November 2022.

Studi Literatur

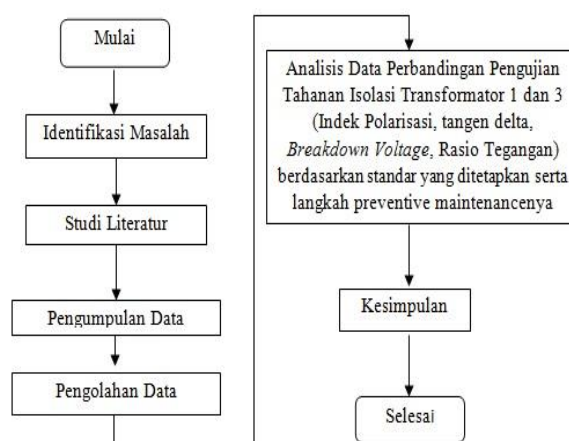
Pada metode ini dilaksanakan pengumpulan data dari referensi–referensi terkait seperti jurnal dan buku-buku untuk mendapatkan teori-teori yang memiliki keterkaitan sebagai penguat tulisan pada penelitian ini.

Pengumpulan Data

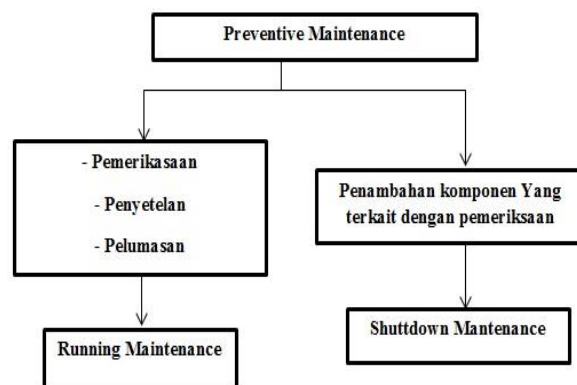
Metode ini dilakukan untuk pengumpulan data-data yakni data pengujian indeks polarisasi, tangen delta, *breakdown voltage*, dan rasio tegangan serta mengamati transformator secara langsung di Gardu Induk Garuda Sakti.

Pengolahan dan Analisis data

Setelah seluruh data didapatkan serta dianggap lengkap maka selanjutnya dilakukan pengolahan data dan dilakukan analisis terhadap data-data yang diperoleh menggunakan persamaan-persamaan serta mengacu pada standar yang telah ditetapkan.



Gambar 1. Metodologi Penelitian



Gambar 2. Blok Diagram *Preventive Maintenance*

Preventive Maintenance

Preventive Maintenance merupakan pemeliharaan yang dilaksanakan pada kriteria atau interval yang telah ditentukan dari kondisi suatu peralatan listrik.

Pemeliharaan yang dilakukan bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya penurunan kinerja atau kerusakan mendadak pada peralatan listrik tersebut sehingga dapat diketahui secara dini gejala kerusakan atau gangguan pada peralatan [5]. Gambar 2 memperlihatkan proses *preventive maintenance* mulai dari pemeriksaan mulai dari kondisi mesin dan komponen termasuk di dalamnya proses penyetelan dan pelumasan yang dilakukan secara rutin dengan jangka waktu tertentu. *Running Maintenance* merupakan pemeliharaan yang dilakukan tanpa mematikan kerja atau proses produksi pada peralatan. *Shutdown maintenance* dapat dilakukan jika peralatan memerlukan penggantian berdasarkan hasil pemeriksaan [10].

Preventive maintenance pada transformator dapat dilakukan melalui beberapa tindakan pencegahan, seperti pemeriksaan visual, pengukuran tegangan dan arus, pembersihan, dan perawatan berkala. Pemeriksaan visual dilakukan untuk mengecek kondisi fisik transformator, seperti kondisi luar, kondisi terminal, dan kondisi pendingin. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan untuk mengecek kondisi operasi transformator, seperti tegangan masuk dan keluar, arus masuk dan keluar, isolasi dan faktor daya. Pembersihan dilakukan untuk membersihkan debu dan kotoran yang menempel pada transformator, seperti debu yang menempel pada pendingin, debu yang menempel pada komponen lain. Perawatan berkala dilakukan untuk melakukan perbaikan dan perawatan pada komponen yang rusak atau aus, seperti pergantian oli pendingin, pergantian bushing, dan penggantian komponen lain yang rusak [6].

Dengan melakukan *preventive maintenance* secara teratur, transformator dapat diandalkan untuk beroperasi dengan baik dan menghasilkan tegangan yang stabil. Selain itu, *preventive maintenance* juga dapat meningkatkan efisiensi operasi transformator, menurunkan biaya perbaikan, dan meningkatkan umur pakai transformator. Oleh karena itu, *preventive maintenance* sangat penting dilakukan pada transformator untuk menjamin ketersediaan dan kestabilan sistem distribusi listrik [10].

Pengujian Indeks Polarisasi

Pengujian indeks polarisasi (IP) dilakukan pada belitan yang bertujuan untuk mengetahui keadaan isolasi antara dua belitan atau belitan dengan bumi. Pengujian ini memberikan tegangan DC dan menampilkan keadaan isolasi menggunakan satuan megaohm [11]. Pengujian ini membandingkan

berupa hasil pengujian yang dilakukan pada menit ke 10 dengan hasil pengujian yang dilakukan pada menit ke 1 [12].

Perhitungan indeks polarisasi dapat dilakukan menggunakan persamaan 1.

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \tag{1}$$

Keterangan:

- IP = Indeks Polarisasi
- R₁₀ = Nilai pengujian di menit ke 10 (Ω)
- R₁ = Nilai pengujian di menit ke 1 (Ω)

Jika nilai IP dibawah standar yang ditetapkan maka dapat diindikasikan bahwa isolasi sudah terkontaminasi oleh kelembaban, suhu, kotoran, dan arus bocor, maka dari itu diperlukan tindakan *preventive maintenance* berupa pembersihan antara belitan dikarenakan terdapat kotoran yang terkontaminasi pada belitan. Standar nilai pengujian indeks polarisasi pada tahanan isolasi transformator berdasarkan standar IEE 43-2000 [9]. Ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar Pengujian Tahanan Isolasi Pada Indeks Polarisasi

Kondisi	Nilai Uji Indeks Polarisasi	Rekomendasi
Berbahaya	Kecil dari 1	Ditindak lanjuti
Buruk	1,0 – 1,1	Ditindak lanjuti
Dipertanyakan	1,1 - 1,25	Uji kadar minyak, uji tangen delta(δ)
Baik	1,25 - 2,0	-
Sangat Baik	Lebih dari 2	-

Pengujian Tangen Delta (δ)

Pengujian tangen delta adalah pengukuran kerugian elektrik guna mendapatkan kualitas isolasi belitan dengan melakukan pengukuran pada arus bocor kapasitif [13]. Apabila mendapatkan hasil yang buruk dari tangen delta, maka hal ini disebabkan karena adanya kebocoran arus di isolasi belitan, perlu melakukan tindakan pengecekan lebih lanjut seperti pengecekan rangkaian. Tangen delta merupakan hasil yang didapat dari perbandingan antara arus resistif dengan arus kapasitif [14]. Tangen delta dapat menggunakan persamaan 2.

$$Tan \delta = \frac{P_{loss}}{V^2 \cdot \omega \cdot C} \tag{2}$$

Keterangan:

- Tan δ = Tangen delta (%)
- P_{loss} = Losses Daya (W)
- V = Tegangan (V)

$\omega = 2\pi f$
 C = Kapasitansi (F)

Tabel 2 merupakan standar pengujian tangen delta menggunakan standar ANSI C57.12.90.

Tabel 2. Standar Pengujian Tahanan Isolasi Pada Tangen Delta

Nilai Uji Tangen Delta (%)	Kondisi
< 0,5	Bagus
> 0,5 - < 0,7	Mengalami Pemburukan
> 0,7 - < 1,0	Perlu Investigasi
> 1,0	Tidak Bagus

Pengujian Breakdown Voltage (BDV)

Pengujian *breakdown voltage* adalah sebuah pengujian tegangan tembus pada minyak transformator, pengujian ini sendiri bertujuan untuk dapat mengetahui kondisi minyak yang digunakan sebagai isolasi tegangan transformator. Adanya gelembung udara, gas terlarut, kotoran-kotoran atau endapan pada minyak isolasi akan membuat kualitas kekuatan bahan dielektrik menjadi menurun sehingga diperlukan *preventive maintenance* yaitu dengan melakukan pemurnian guna meningkatkan kembali kekuatan elektrik minyak pada transformator. Minyak transformator memiliki tingkat isolasi lebih baik daripada dengan udara bebas [15]. Perhitungan nilai elektrik minyak isolasi transformator bisa menggunakan persamaan 3.

$$E_{rata-rata} = \frac{V_{b(rata-rata)}}{d} \text{ (kV/mm)} \tag{3}$$

Keterangan:
 $E_{rata-rata}$ = Kekuatan Dielektrik (kV/mm)
 V_b = Tegangan Tembus (kV)
 d = Jarak sela (mm)

Kekuatan dielektrik minyak akan berbanding lurus dengan nilai tegangan tembus dan pada saat terjadi lonjakan nilai terhadap tegangan tembus maka pada kekuatan dielektrik juga akan terjadi kenaikan. Standar pada metode pengujian *breakdown voltage* berdasarkan IEC 60156 [15].

Tabel 3. Standar Pengujian Tahana Isolasi Pada Breakdown Voltage

Tegangan (kV)	Baik (Kv/mm)	Cukup (kV/mm)	Buruk (kV/mm)
70	>40	30 - 40	< 30
150	>50	40 - 50	< 40
500	>60	50 - 60	< 50

Pengujian Rasio Tegangan

Pengujian rasio tegangan bertujuan untuk mendapatkan adanya permasalahan antar belitan dan bagian isolasi trafo. Pengujian ini memberikan tegangan *variable* pada sisi *High Voltage* (HV) dan melakukan pengukuran tegangan yang timbul disisi *Low Voltage* (LV), kemudian membandingkan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder agar mendapatkan rasio perbandingannya [16]. Pengujian ini berguna untuk mengetahui kemungkinan terjadinya kerusakan berupa putusnya lilitan, hubungan singkat antar lilitan, serta kerja tidak normal pada *tap changer*. Berdasarkan standar IEC 60076 yang diizinkan dalam analisa pengujian rasio ini yakni sebesar 0,5% [8].

Perhitungan dalam mencari nilai rasio tegangan pada transformator dapat menggunakan persamaan 4.

Persamaan mencari nilai rasio *name plate*.

$$K_{name\ plate} = \frac{Name\ Plate\ V_p}{Name\ Plate\ V_s} \tag{4}$$

Keterangan:
 $K_{name\ plate}$ = *Ratio name plate*
 V_p = *Name plate* tegangan primer
 V_s = *Name plate* tegangan sekunder

Persamaan 5 digunakan mencari nilai deviasi.

$$DIFF = \frac{K - K_{name\ plate}}{K_{name\ plate}} \times 100\% \tag{5}$$

Keterangan:
 $DIFF$ = Deviasi (%)
 K = Kostanta (rasio transformator)
 $K_{name\ plate}$ = *Ratio name plate*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada hasil penelitian ini, pengujian tahanan isolasi transformator menggunakan 4 metode yaitu indeks polarisasi, tangen delta, *breakdown voltage*, dan rasio tegangan, serta memberikan langkah-langkah *preventive maintenance*, yang membedakan dari penelitian [7] hanya mencakup 3 metode yaitu indeks polarisasi, tangen delta, dan *breakdown voltage* dan penelitian [8] yang hanya menggunakan 2 metode yaitu tangen delta dan rasio tegangan. Sehingga dari 4 metode ini dapat memberikan hasil yang lebih akurat untuk mengetahui kelayakan tahanan isolasi transformator 1 dan 3 Gardu Induk Garuda Sakti.

Hasil Pengujian Indeks Polarisasi Transformator

Tabel 4. Hasil Pengujian Indeks Polarisasi Transformator 1 GI Garuda Sakti

No	Aktifitas	Hasil Pengujian		IP
		1 min (MOhm)	10 min (M Ohm)	
1	Primer-Ground	2.70	17.2	2.38
2	Sekunder-Ground	20.5	55.5	2.71

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Tabel 5. Hasil Pengujian Indeks Polarisasi Transformator 3 GI Garuda Sakti

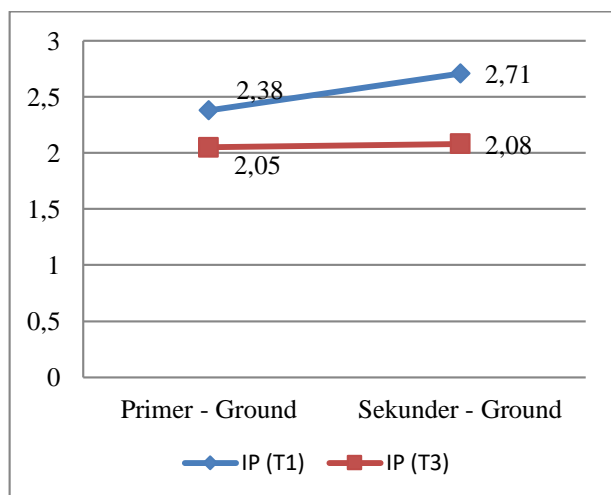
No	Aktifitas	Hasil Pengujian		IP
		1 min (M Ohm)	10 min (M Ohm)	
1	Primer-Ground	24	49.02	2.05
2	Sekunder-Ground	19.2	39.93	2.08

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Tabel 4 dan tabel 5 menunjukkan nilai IP dari hasil pengujian indeks polarisasi transformator 1 dan 3 pada primer-ground dan sekunder-ground. Berdasarkan Persamaan 1 dapat dilakukan perhitungan indeks polarisasi sebagai berikut.

Perhitungan Indeks polarisasi pada belitan primer – ground GI Garuda Sakti.

$$IP = \frac{17.2}{7.20} = 2.38$$



Gambar 3. Grafik Hasil pengujian indeks polarisasi

Setelah hasil perhitungan ke dua transformator didapatkan, dapat dilihat pada grafik 1 (Gambar 3) menunjukkan nilai ip pada belitan primer – ground

transformator 1 sebesar 2.38 dan transformator 3 sebesar 2.05 maka dikualifikasikan bahwa keadaan tahanan isolasi antar belitan dalam keadaan baik menurut standar IEEE 43-2000. Pada grafik 1 juga menunjukkan nilai ip transformator 3 mengalami pemburukan daripada transformator 1 yang disebabkan karena pengaruh suhu, beban trafo, hingga kelembaban. maka diperlukan langkah *preventive maintenance* berupa pembersihan antara belitan agar tidak mengalami pemburukan hingga menyebabkan kerusakan.

Hasil Pengujian Tangen Delta Transformator

Tabel 6. Hasil Pengujian Tangen Delta Transformator 1 GI Garuda Sakti

Pengukuran	Test kV	Test Mode	Watts	PF(%)	Cap (pF)
CHG	10,00	GSTg-R	25.33	0,17	4482.75
CHL	10,00	UST-R	42.44	0,14	9196.03
CHL+CHG	10,00	GST-GND	67.79	0,15	67.79
CLG	10,00	GSTg-R	118.15	0,19	118.15
CLH	10,00	UST-R	42.43	0,14	42.43
CHL+CLG	10,00	GST-GND	161.67	0,18	161.67

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

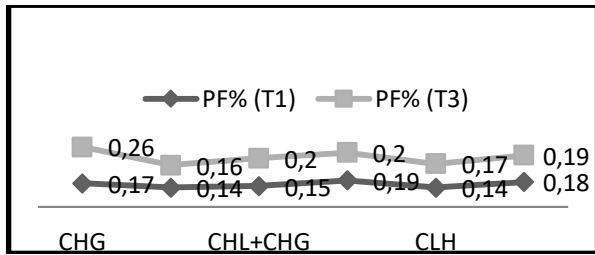
Tabel 7. Hasil Pengujian Tangen Delta Transformator 3 GI Garuda Sakti

Pengukuran	Test kV	Test Mode	Watts	PF(%)	Cap (pF)
CHG	10,00	GSTg-R	29.21	0.26	3470.67
CHL	10,00	UST-R	35.92	0.16	6812.08
CHL+CHG	10,00	GST-GND	65.17	0.20	10286
CLG	10,00	GSTg-R	107.91	0.20	16662.4
CLH	10,00	UST-R	36.44	0.17	6813.04
CHL+CLG	10,00	GST-GND	144.23	0.19	23477.8

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Tabel 6 dan tabel 7 menunjukkan nilai pengujian serta nilai tangen delta dari transformator 1 dan 3 yang telah dihitung. Dari persamaan 2 dapat dihitung nilai tangen delta pada transformator Gardu Induk Garuda Sakti sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{0,3060}{10000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 4482,75 \times 10^{-12}} \\ &\times 100\% \\ &= 0,17\% \end{aligned}$$



Gambar 4. Grafik Hasil pengujian tangen delta

Dari perhitungan tangen delta pada transformator 1 dan 3 dapat dilihat nilainya pada grafik 2 yang menunjukkan pada posisi CHG didapatkan nilai 0,17% dan transformator 3 sebesar 0,26% maka dinyatakan kondisi tangen delta berada pada kondisi baik mengacu pada standar ANSI C57, 12, 90. Karena berada dibawah nilai 0,5%. Namun terlihat pada grafik 2 pada transformator 3 mengalami kenaikan nilai tangen delta dibandingkan transformator 1 sebesar 9%, ini dapat disebabkan karena adanya kotoran, debu ini dapat mempengaruhi hasil dari pengukuran. Hasil perhitungan dari indeks polarisasi dan tangen delta melihatkan yang mana nilai IP berbanding lurus terhadap nilai tangen delta yang mengkondisikan bahwa kenaikan arus bocor di bagian tahanan isolasi akan memperbesar pemburukan di isolasi transformator.

Hasil Pengujian Breakdown Voltage Transformator

Tabel 8. Hasil Pengujian Breakdown Voltage Transformator 1 GI Garuda Sakti

Uraian Kegiatan	Hasil Pengujian (kV)						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
Test Suhu: 43,4°C	1	2	3	4	5	6	
Minyak Bawah	68,3	80,0	76,1	50,2	68,3	52,5	65,9

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Tabel 9. Hasil Pengujian Breakdown Voltage Transformator 3 GI Garuda Sakti

Uraian Kegiatan	Hasil Pengujian (kV)						Rata-rata
	1	2	3	4	5	6	
Test Suhu: 43,4°C	1	2	3	4	5	6	
Minyak Bawah	43,0	53,9	52,8	51,9	41,3	37,5	46,7

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

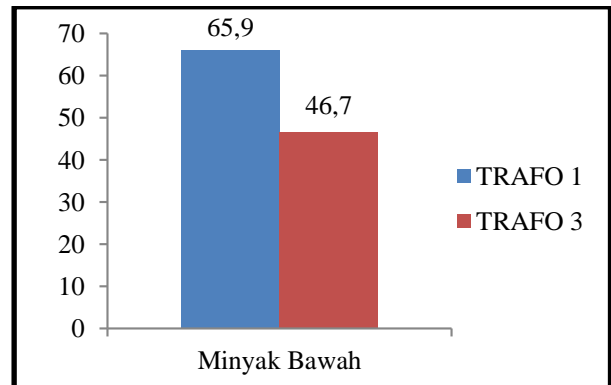
Tabel 8 dan tabel 9 menunjukkan hasil pengujian serta nilai breakdown voltage yang telah dihitung dari transformator 1 dan 3. Berdasarkan persamaan 1 dapat dilakukan perhitungan terhadap kekuatan dielektrik minyak isolasi transformator pada suhu 43,4°C sebagai berikut.

Perhitungan kekuatan dielektrik transformator 1 GI Garuda Sakti.

$$\begin{aligned} E_{rata-rata} &= \frac{65,9}{2,5} \\ &= 26,36 \text{ (kV/mm)} \end{aligned}$$

Perhitungan kekuatan dielektrik Transformator 3 GI Garuda Sakti.

$$\begin{aligned} E_{rata-rata} &= \frac{46,7}{2,5} \\ &= 18,68 \text{ (kV/mm)} \end{aligned}$$



Gambar 5. Grafik Hasil pengujian breakdown voltage

Hasil perhitungan kekuatan dielektrik minyak isolasi pada transformator 1 dapat dilihat pada grafik 3, bahwa nilai dielektrik minyak bawah yaitu sebesar 26,36 (kV/mm) dan transformator 3 sebesar 18,68 (kV/mm). Hasil rata-rata dari transformator 1 masih sesuai dengan batas yang diizinkan dalam kondisi baik yakni diatas 50 kV dan transformator 3 berada dalam standar cukup yakni diatas 40 kV berdasarkan standar IEC 60156. Gambar 5 juga melihatkan pada transformator 3 memiliki nilai rata-rata hasil pengujian lebih kecil yang berarti mengalami penurunan kualitas dari pada transformator 1, hal ini dapat disebabkan oleh gelembung gas atau endapan partikel padat pada minyak isolasi akan membuat kualitas kekuatan bahan dielektrik menjadi menurun sehingga diperlukan adanya langkah preventive maintenance seperti pemeriksaan lebih lanjut atau melakukan pemurnian guna meningkatkan kembali kekuatan dielektrik minyak pada transformator.

Data Hasil Pengujian Rasio Tegangan Transformator

Tabel 10. Hasil Pengujian Rasio Tegangan Transformator 1 GI Garuda Sakti

Posisi Tap	Teg Name Plate (V)		Ratio Name Plate	Hasil Pengukuran					
	Primer	Sekunder		Rasio (K)			Deviasi (%)		
				R	S	T	R	S	T
1	165000	22000	7,5	7.529	7.527	7.531	0.39	0.36	0,41
2	163125	22000	7,4148	7.442	7.440	7.445	0.37	0.34	0,40
3	161250	22000	7,3295	7.355	7.353	7.355	0.35	0.32	0,34
4	159375	22000	7,2443	7.266	7.267	7.271	0.30	0.31	0,36
5	157500	22000	7,1591	7.181	7.179	7.184	0.31	0.28	0,34
6	155625	22000	7,0739	7.093	7.092	7.096	0.27	0.26	0,31
7	153750	22000	6,9886	7.006	7.005	7.009	0.25	0.23	0,29
8	151875	22000	6,9034	6.919	6.919	6.923	0.23	0.23	0,28
9	150000	22000	6,8182	6.833	6.832	6.835	0.22	0.2	0,24
10	148125	22000	6,7330	6.744	6.745	6.747	0.16	0.18	0,20
11	146250	22000	6,6477	6.658	6.657	6.661	0.15	0.14	0,20
12	144375	22000	6,5625	6.571	6.569	6.574	0.13	0.1	0,17
13	142500	22000	6,4773	6.485	6.483	6.486	0.12	0.9	0,13
14	140625	22000	6,3920	6.398	6.396	6.400	0.9	0.6	0,12
15	138750	22000	6,3068	6.310	6.310	6.313	0.05	0.05	0,09
16	136875	22000	6,2216	6.225	6.223	6.227	0.05	0.02	0,08
17	135000	22000	6,1364	6.139	6.136	6.139	0.04	0.01	0,04

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Tabel 11. Hasil Pengujian Rasio Tegangan Transformator 3 GI Garuda Sakti

Posisi Tap	Teg Name Plate (V)		Ratio Name Plate	Hasil Pengukuran					
	Primer	Sekunder		Rasio (K)			Deviasi (%)		
				R	S	T	R	S	T
1	165750	20000	8.2875	8.301	8.3	8.31	0.16	0.15	0,27
2	163500	20000	8.1750	8.19	8.187	8.198	0.18	0.15	0,28
3	161250	20000	8.0625	8.076	8.074	8.084	0.17	0.14	0,26
4	159000	20000	7.95	7.964	7.961	7.971	0.18	0.14	0,26
5	156750	20000	7.8375	7.851	7.849	7.859	0.17	0.15	0,27
6	154500	20000	7.725	7.624	7.737	7.745	0.17	0.16	0,25
7	152250	20000	7.6125	7.512	7.624	7.631	0.15	0.15	0,24
8	150000	20000	7.5	7.512	7.511	7.519	0.16	0.15	0,25
9	147750	20000	7.3875	7.399	7.399	7.519	0.16	0.16	0,25
10	145500	20000	7.275	7.287	7.287	7.293	0.16	0.16	0,24
11	143250	20000	7.1625	7.174	7.174	7.181	0.16	0.16	0,25
12	141000	20000	7.05	7.062	7.060	7.068	0.17	0.14	0,25
13	138750	20000	6.9375	6.949	6.948	6.955	0.17	0.15	0,25
14	136500	20000	6.825	6.836	6.836	6.841	0.16	0.16	0,23
15	134250	20000	6.7125	6.723	6.722	6.729	0.16	0.14	0,24
16	132000	20000	6.6	6.611	6.610	6.617	0.17	0.15	0,25
17	129750	20000	6.4875	6.499	6.497	6.504	0.18	0.15	0,25
18	127500	20000	6.375	6.386	6.384	6.391	0.17	0.14	0,25

(Sumber data: Gardu Induk Garuda Sakti)

Berdasarkan persamaan 4 dapat dilakukan perhitungan pada nilai *ratio name plate* sebagai berikut.

$$K_{name\ plate} = \frac{165750}{20000} = 8.2875$$

Setelah didapatkan nilai *ratio name plate* maka selanjutnya dapat melakukan perhitungan nilai deviasi menggunakan persamaan 5 berikut.

$$R = \frac{8.301 - 8.2875}{8.2875} \times 100\% = 0,16\%$$

$$S = \frac{8.3 - 8.2875}{8.2875} \times 100\%$$

$$= 0,15 \%$$

$$T = \frac{8.31-8.2875}{8.2875} \times 100\% \\ = 0,27 \%$$

Dari hasil perhitungan nilai rasio tegangan, terlihat pada tabel 11 bahwa nilai perbandingan antara *ratio name plate* dengan hasil rasio pengujian ke 2 tranformator dalam keadaan baik dan masih berada dibawah standar yang ditetapkan sebesar 0,5% mengacu pada standar IEEE C57.125.1991 sehingga dinyatakan bahwa kondisi trafo layak beroperasi.

KESIMPULAN

Kualitas tahanan isolasi pada transformator di Gardu Induk Gardu Sakti telah berhasil didapatkan. Bahwa dari *preventive maintenance* yang dilakukan mulai dari pengujian indeks polarisasi, tange delta, *breakdown voltage*, dan rasio tegangan yang telah dilakukan terhadap transformator 1 dan 3 masih berada pada batas standar yang diizinkan namun dari beberapa pengujian diperlukan langkah *preventive* lanjutan seperti Nilai tange delta pada transformator 3 mengalami penurunan kualitas dibandingkan dengan transformator 1 yang disebabkan karena pengaruh suhu, beban trafo, hingga kelembaban, maka diperlukan adanya pembersihan antara belitan.

Pada pengujian tange delta seperti halnya pada nilai indeks polarisasi menunjukkan pemburukan pada transformator 3 pada pengukuran CHG sebesar 0,9% dari transformator 1 ini disebabkan karena adanya kenaikan arus bocor pada tahanan isolasi yang dapat memperbesar pemburukan di isolasi transformator. Pada pengujian minyak tembus pada transformator 3 mendapatkan nilai rata dari hasil pengujian lebih kecil dari transformator 1 yakni pada trafo 3 sebesar 65,9 dan trafo 3 sebesar 46,7 kV ini mengindikasikan bahwa transformator 3 mengalami pemburukan yang dapat disebabkan oleh gelembung gas atau endapan partikel padat maka dapat dilakukan pemurnian untuk meningkatkan kualitas dari minyak tembus. Pada pengujian rasio tegangan menunjukkan masih dalam keadaan baik dengan nilai rata-rata di bawah dari 0,5% dari rasio tegangan *name plate* berdasarkan standar IEEE C57.125.1991 sehingga transformator layak dioperasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibimbing oleh Zulfatri Aini, selaku dosen Jurusan Teknik Elektro UIN Sultan Syarif Kasim Riau, dan Terimakasih kepada PT. PLN Persero (P3B Sumatera) UPT Pekanbaru yang telah bersedia mendukung terwujudnya penelitian ini.

REFERENSI

- [1] D. D. Azkia, "Performance Analysis Of Step Down Type-Transformator Of Factories At The Company Of Surya Toto Indonesia Cikupa," vol. 2, no. 1, hlm. 13, 2020, doi: 10.23960/jpvti.v2.i1.202002.
- [2] L. Parinduri, "Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangurusan Kabupaten Samosir," *Journal of Electrical Technology*, vol. 2, no. 3, 2017, [Online]. Tersedia pada: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/233>
- [3] Ismujianto, R. Andriani, S. Aisyah, dan C. C. Hutapea, "Pengujian Voltage Ratio Transformator 60 MVA 150/22 KV," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, vol. 3, hlm. 204–208, 2018. [Online]. Tersedia pada: <https://prosiding-old.pnj.ac.id/index.php/snte/article/view/035%20-%20202017>
- [4] D. Aribowo, R. Wiryadinata, dan D. A. Yh, "Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV," *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 8, no. 1, hlm. 6, 2014, doi: 10.23960/elc.v8n1.122.
- [5] H. de Faria, J. G. S. Costa, dan J. L. M. Olivas, "A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 46, hlm. 201–209, Jun 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.02.052.
- [6] E. Permata, "Maintenance Preventive Pada Transformator Step-Down Av05 Dengan Kapasitas 150kv Di Pt. Krakatau Daya Listrik," *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, vol. 3, no. 1, hlm. 485–493, 2020. [Online]. Tersedia pada: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/psnp/article/view/9977/6486>

- [7] M. F. Robbani, D. Nugroho, dan G. Gunawan, "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 kV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage," *Elektrika*, vol. 12, no. 2, hlm. 60, Des 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2721.
- [8] R. Ondrialdi, U. Situmeang, dan Zulfahri, "Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang," *SainETIn*, vol. 4, no. 2, hlm. 72–81, Jun 2020, doi: 10.31849/sainetin.v4i2.6288.
- [9] A. Muis, "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya," *Sinusoida*, vol. 23, no. 2, hlm. 10, 2021, doi: 10.37277/s.v23i2.1114.
- [10] Irwanto, "Sistem Maintenance Transformator 60 MVA Pada Electric Arc Furnace (EAF) 7 Slab Steel Plant 1," *J. Mech. Eng. Mechatron.*, vol. 5, no. 2, hlm. 75, Okt 2020, doi: 10.33021/jmem.v5i2.1260.
- [11] A. R. Hidayat, A. Jamal, A. N. N. Chamim, R. Syahputra, dan J. Jeckson, "Analysis of Power Transformer Insulation: A Case Study in 150 kV Bantul Substation," *J. Electr. Technol. UMY*, vol. 3, no. 2, hlm. 50–60, 2019, doi: 10.18196/jet.3254.
- [12] Wiwin A Oktaviani, Taufik Barlian, dan Marami Ahmad Gazani, "Pengujian Isolasi Trafo Daya 30 MVA pada GI Sungai Juaro Palembang dengan Indeks Polarisasi dan Tangen Delta," *J. Rekayasa Elektro Sriwij.*, vol. 3, no. 1, hlm. 199–204, Nov 2021, doi: 10.36706/jres.v3i1.43.
- [13] L. Abidin, "Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing," *Energi Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, hlm. 189–196, Des 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.762.
- [14] A. A. Yani, Margono, dan K. Hasto, "Analisa Tahanan Isolasi Transformator 3 Di Pt. Pln (Persero) Gardu Induk 150 KV Pati," *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, Des 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.72.
- [15] A. Rezki, T. K. Wijaya, dan M. I. M. Irsyam, "Analisa Pengujian Resistansi Tegangan Tembus Pada Oli Transformator 5.000 Kva Di Pltmg Panbil," *SIGMA Tek.*, vol. 1, no. 2, hlm. 122, Nov 2018, doi: 10.33373/sigma.v1i2.1497.
- [16] A. Makkulau, N. Pasra, dan R. R. Siswanto, "Pengujian Tahanan Isolasi dan Rasio Pada Trafo Ps T15 Pt Indonesia Power Up Mrica," *Jurnal Energi & Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, hlm. 7, 2018, doi: 10.33322/energi.v10i1.320.