

EVALUASI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR 30 MVA MENGGUNAKAN METODE INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA

Muhammad Erwin Gunawan¹, Muhammad Haddin²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang

E-mail: ¹erwinmuhammadd117@gmail.com, ²haddin@uissula.ac.id

Abstrack - Use of a 30 MVA Auxiliary Transformer (UAT) Unit for a long period of time can experience insulation suitability problems, resulting in overvoltage and a decrease in insulation resistance. Humidity and high temperatures are factors that can cause mechanical damage which results in stopping the flow of electricity to the load. As a solution, the research carried out a feasibility test for the insulation resistance of a 30 MVA auxiliary transformer unit with a model determined as a transformer whose insulation feasibility was tested. The test uses the polarization index and tangent delta methods referring to the IEEE 43-2000 and ANSI C57.12.90 standards. The polarization index values obtained were 1.91 for HV-LV1+LV2+GND, 2.49 for LV1-HV+LV2+GND, and 1.87 for LV2-HV+LV1+GND. The tangent delta value in the 30 MVA Auxiliary Transformer Unit measurement is 0.323% for Primer, 0.949% for Secunder, and 0.834 for Tertier. These values indicate that the UAT isolation condition is still in good condition and suitable for operation.

Keywords : Transformer, Polarization Index, Tan Delt

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

P.T. Cirebon Electric Power atau biasa disebut (PLTU CIREBON) adalah salah satu perusahaan pembangkit listrik di Indonesia yang terletak di kabupaten Cirebon. PT. Cirebon Electric Power merupakan perusahaan yang lahir karena adanya kebijakan pemerintah mengenai proyek pembangkit 35.000 MW untuk menangani kekurangan listrik di Indonesia. Pltu Cirebon membangkitkan listrik, unit pembangkit memiliki beban-beban yang perlu disuplay untuk pemakaian sendiri. Akan tetapi keluaran dari generator terlalu tinggi tegangannya sehingga diperlukan alat penurun tegangan dari keluaran generator tegangan diturunkan ke tegangan rendah untuk pemakaian sendiri. Unit Auxiliary Transformer (UAT) 30 MVA merupakan transformator yang menyalurkan catu daya kepada peralatan pembangkitan berupa mill motor, pompa, air compressor, fan, dan sistem eksitasi pada generator[1].

Permasalahan yang terjadi pada UAT 30 MVA adalah masalah tentang kelayakan isolasi. Hal ini dikarenakan peralatan tersebut digunakan secara terus menerus dalam waktu lama sehingga terjadi tegangan lebih dan dapat menyebabkan penurunan tahanan isolasi serta menimbulkan terjadinya gangguan pada transformator. kelembapan, suhu yang tinggi menjadi penyebab kerusakan mekanis yang mengakibatkan terhentinya aliran listrik ke beban.

Solusinya adalah diperlukan pengujian atau perawatan perlu dilakukan dalam skala rutin agar trafo dapat beroperasi sesuai masa pemakaian maksimalnya. Evaluasi Uji kelayakan dan analisis dikerjakan untuk mengetahui suatu kualitas isolasi

pada trafo UAT 30 MVA. Evaluasi, pengecekan serta pengukuran pada tahanan isolasi di PLTU CIREBON dilakukan pada saat transformator dalam kondisi tidak beroperasi atau padam, jadwal perbaikan pada transformator ditentukan oleh pihak PLTU CIREBON berdasarkan jadwal perusahaan dalam kondisi shutdown atau tidak beroperasi, dalam beberapa tahun belakang untuk jadwal perbaikan itu dilakukan setiap kurang waktu dua tahun sekali saat masa shutdown, hal ini memungkinkan untuk dilakukan pengecekan, pengukuran serta perbaikan pada transformator [2]. Mutu pada isolasi trafo UAT 30 MVA ditentukan dari hasil ukur suatu tahanan isolasi, hasil ukur faktor rugi-rugi di bagian elektrik dan hasil ukur permukaan persial dimana akan didapatkan nilai indeks polarisasi dengan mengacu pada standar IEEE 43-200 [3]. maka dapat menentukan kualitas suatu isolasi, sedangkan pada pengukuran nilai Tangen Delta berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 [4].

Dari nilai hasil yang didapat pada pengukuran serta perhitungan tahanan isolasi, maka akan dilakukan perbandingan nilai pada data pengukuran serta data perhitungan dengan mengacu pada standarisasi yang ada[5].

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka diambil perumusan masalah sebagai berikut:

Berapa nilai tahanan isolasi pada unit auxiliary transformer 30 MVA apakah

- memenuhi standar keandalan yang berlaku setelah terakhir diperiksa pada tahun 2022 ?
- Bagaimana melakukan pengujian tahanan isolasi dengan menggunakan indeks polarisasi dan tan delta ?

c. Bagaimana kondisi kelayakan unit auxiliary transformer 30 MVA di pltu Cirebon setelah dilakukan pengujian indeks polarisasi dan tan delta ?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan pengujian ini adalah:

- a. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil pengujian tahanan isolasi pada UAT 30 MVA.
- b. Nilai tahanan isolasi pada UAT 30 MVA memenuhi standar keselamatan dan keandalan yang berlaku.
- c. Diketahuinya data tahanan isolasi UAT 30 MVA di PLTU CIREBON.

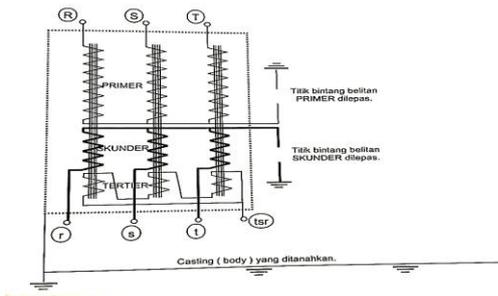
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan pustaka

1. Analisis tahanan isolasi pada trafo di stasiun Wonogiri [6]. Hasil pengujian ini terdiri dari perhitungan nilai indeks polarisasi yang diperoleh diatas 1,1-1,25 dalam kondisi baik.
2. Analisis hasil uji tahanan isolasi transformator berdasarkan uji polarisasi, delta tangen, rasio tegangan, BDV (Breakdown Voltage)[7].
3. Analisis Kegagalan Autotransfer Antara UAT (Unit Auxiliary Transformer) dan SST (Station Service Transformer) di Kawasan GTG Indonesia Power Semarang [8].

III. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Analisis



Gambar 1 Model penelitian

Tranformator merupakan sebuah alat magneto elektrik yang sederhana, andal, dan efisien berfungsi merubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lainnya. transformator ideal berlaku perbandingan seperti persamaan (1).

$$N_p N_s = V_p V_s = I_s I_p \tag{1}$$

dengan: N_p = belitan primer, N_s = belitan sekunder, V_p = tegangan primer, V_s = tegangan, I_p = arus primer, I_s = arus sekunder.

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induktansi mutual antara dua buah belitan yang dihubungkan oleh sebuah fluks magnetik. Hukum Faraday menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup, nilai gaya gerak listrik induksi sama dengan negatif rate perubahan fluks terhadap waktu dapat dilihat pada persamaan (2) dan (3).

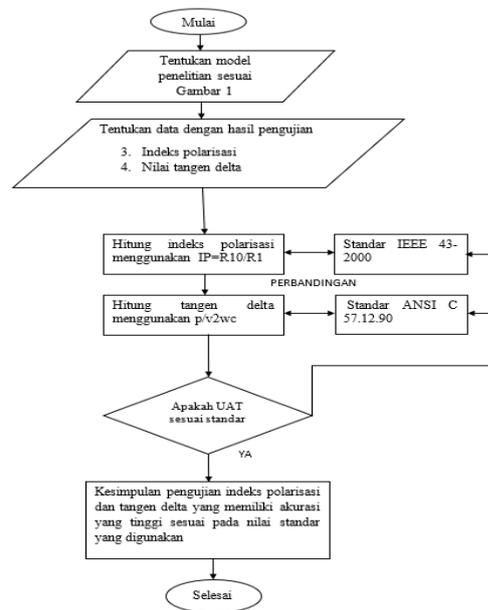
$$\phi = \lambda N \tag{2}$$

$$e = -N \cdot d\phi / dt \tag{3}$$

dengan: λ = total fluks linkage, ϕ = fluks, $d\phi$ = perubahan garis gaya magnet, dt = perubahan waktu, N = jumlah belitan, e = GGL Induksi.

3.2. Flowchart pengujian

Tahapan penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 2. Sebagai rangkaian proses penelitian dari tahapan mulai sampai selesai.



Gambar 2 Flowchart

3.3. Pengujian Indeks Polarisasi (IP)

Pengujian indeks polarisasi (IP) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur integritas polarisasi pada peralatan listrik. Tegangan ini biasanya diterapkan dalam waktu yang cukup lama, biasanya 10 menit atau lebih. penerapan tegangan arus bocor melalui isolasi.

Pengujian indeks polarisasi (IP) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur integritas polarisasi pada peralatan listrik. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi sejauh mana isolasi pada peralatan listrik dapat mempertahankan resistansi terhadap arus bocor dalam jangka waktu tertentu. Nilai polarisasi dihitung berdasarkan persamaan (4).

$$IP = R10 R1 \tag{4}$$

dengan : IP= Indeks Polarisasi, R10= Pengujian pada menit ke-10, R1= Pengujian pada menit ke-1

Indeks polarisasi diperoleh dengan membagi nilai resistansi isolasi pada waktu tertentu, biasanya setelah 10 menit (R10). Indeks polarisasi dapat dihitung dengan rumus melalui persamaan 2 dan pengkategorian kondisi isolasi berdasarkan hasil pengujian indeks polarisasi memiliki standar nilai yang dapat disimpulkan suatu nilai tahanan isolasi sesuai dengan standar IEEE 43-2000, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Standar Nilai Tahanan Isolasi Sesuai Dengan Standar IEEE 43-2000

Hasil Pengujian	Keterangan	Rekomendasi
<1	Berbahaya	Investigasi
1 – 1,1	Jelek	Investigasi
1,1 - 1,25	Dipertanyakan	Uji Kadar Minyak, Uji Tangen Delta
1,25 – 2	Baik	-
>2	Sangat Baik	-

3.4. Pengujian Tan Delta

Tan Delta atau biasa dikenal dengan istilah los angle atau disipasi faktor test merupakan metode diagnostik elektrik digunakan untuk mengevaluasi kualitas isolasi pada peralatan atau pengujian faktor rugi. Pada dasarnya, metode tangen delta melibatkan pengukuran faktor daya atau faktor rugi pada material isolasi. Selama pengujian ini membandingkan fase antara tegangan dan arus yang mengalir melalui isolasi untuk mengukur faktor daya atau faktor rugi. Memperkirakan keadaan isolasi pada transformator dapat diketahui dengan hasil pengujian tan delta. Dari data interpretasi hasil pengujian merujuk ke aturan standar ANSI C57.12.90 yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Standarisasi Tangen Delta Menggunakan Aturan Yang Mengacu Pada ANSI C57.12.90

Hasil uji	Kondisi
≤ 0,5 %	Bagus
0,5 – 0,7 %	Mulai mengalir penurunan
≥ 1,0 %	Buruk

Perhitungan tangen delta seperti persamaan (5) sampai (8)

$$S = \frac{V^2}{Z} \tag{5}$$

$$Z = \frac{V^2}{S} \tag{6}$$

Mencari Xc:

$$Xc = \frac{V^2}{Q} \tag{7}$$

$$Xc = \frac{V^2}{\omega C} \tag{8}$$

Xc didapat persamaan pada persamaan (9) sampai (11).

$$Q = \frac{V^2}{Xc} \tag{9}$$

$$S = \frac{1}{\omega C} \tag{10}$$

$$S V^2 \omega C \tag{11}$$

Sehingga didapatkan persamaan Tangen Delta didapat pada persamaan (12).

$$\tan \Delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \tag{12}$$

dengan : Δ = Delta, P= daya (Watt), V = Tegangan (Volt), C= kapasitansi (F), ω = 2πf.

Untuk lebih jelasnya nilai DF (Dissipation Factor) atau tangen delta dihitung menggunakan rumus persamaan (13).

$$\tan \delta = \frac{P}{2\pi f C V_{out}^2} \times 100\% \tag{13}$$

dengan rincian sebagai berikut: P= kerugian daya (mW), f = frekuensi (Hz), C= kapasitansi (pF), Vout= tegangan keluaran (kV).

standarisasi tangen delta menggunakan aturan ANSI C57.12.90 [4].

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian

Pengujian yang dilakukan di PLTU Cirebon dengan Tahanan isolasi UAT 30 MVA yang menggunakan Metode Indeks Polarisasi dan Tan Delta. Tujuannya adalah mengevaluasi kondisi isolasi pada UAT 30 MVA. Pengukuran ini penting untuk mendeteksi degradasi isolasi dini, sehingga tindakan pencegahan dapat dilakukan .

4.2. Data Tahanan Isolasi Indeks Polarisasi

Tabel 3 memuat data tahunan tahanan isolasi Unit Auxiliary Transformer berkapasitas 30 MVA di PLTU Cirebon, yang diperoleh melalui pengukuran Indeks Polarisasi yang dilakukan uji selama 10 menit

Tabel 3 data uji pengukuran 1 menit dan 10 menit

	Tabel 3	Tabel 4	Tabel 5
Primary-Sekunder (1 min)	4.850 GΩ	4.910 GΩ	3.650 GΩ
Primary-Sekunder (10 min)	9.310 GΩ	12.230 GΩ	6.810 GΩ

Merujuk dari data hasil pengujian tahanan isolasi dari trafo UAT 30 MVA pada Tabel 3 didapatkan sebuah perhitungan, perhitungan tahanan isolasi menggunakan metode Indeks Polarisasi pada primer-sekunder trafo 30 MVA menggunakan persamaan (4).

$$HV-LV1+LV2+GND$$

$$IP = \frac{9.310}{4.850} = 1,91$$

$$LV1-HV+LV2+GND$$

$$IP = \frac{12.230}{4.910} = 2,49$$

$$LV2+HV+LV1+GND$$

$$IP = \frac{6.810}{3.650} = 1,87$$

Setelah mendapatkan data pengukuran serta perhitungan pada tahanan isolasi UAT 30 MVA dengan metode indeks polarisasi didapatkan suatu nilai hasil pengujian yang menganut aturan standarisasi IEEE 43-2000, seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 4 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Metode Indeks Polarisasi

4.3. Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Isolasi Tangen Delta

Pengukuran tangen delta (Tan δ) dilakukan untuk mengukur kerugian daya pada bahan isolasi akibat adanya arus bocor yang melewati isolasi tersebut. Nilai Tan δ adalah perbandingan antara komponen resistif dan kapasitif dari arus bocor, dan dinyatakan dalam bentuk desimal atau persen (%). Semakin rendah nilai Tan δ, semakin kecil kerugian daya pada isolasi yang menunjukkan isolasi dalam kondisi yang lebih baik.

Pengukuran Tan δ biasanya dilakukan dengan alat Power Factor Test Set yang memberikan tegangan AC pada frekuensi tertentu (umumnya 50 atau 60 Hz).

Berdasarkan standar yang berlaku, hasil pengukuran ini diberikan penilaian “Pass” atau “Fail” yang menentukan apakah peralatan tersebut masih layak atau perlu dilakukan perawatan seperti ditunjukkan Tabel 5.

Tabel 5 Uji tangen delta premier, sekunder ,tertier. Merujuk dari data hasil pengujian tahanan isolasi Unit Auxiliary Transformer 30 MVA pada Tabel 5 menunjukkan bahwa terdapat data hasil pengukuran berbagai parameter yang digunakan untuk menilai kondisi isolasi trafo di antaranya watt losses, kapasitansi, dan faktor disipasi (DF). Perhitungan tangen delta atau faktor disipasi (DF) pada isolasi trafo dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kerugian daya dalam isolasi tersebut, yang bisa menjadi indikasi kualitas isolasi. Nilai tangen delta

dihitung menggunakan persamaan (13) dan hasil pengukuran Tangen delta sesuai dengan Tabel 5.

$$P : 2,1774 \text{ W}$$

$$f : 50 \text{ Hz}$$

$$C : 21440,4 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$V_{out} : 10.000 \text{ V}$$

$$\tan\delta = \frac{2,1774}{2,3,14.50.21440,4 \times 10^{-12} .10.000^2} \times 100\%$$

$$\tan\delta = \frac{2,1774}{673,22} \times 100\%$$

$$\tan\delta = 0,323\%$$

$$P : 1,70374 \text{ W}$$

$$f : 50 \text{ Hz}$$

$$C : 15870,3 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$V_{out} : 6000 \text{ V}$$

$$\tan\delta = \frac{1,7037}{2,3,14.50.15870,3 \times 10^{-12} .6000^2} \times 100\%$$

$$\tan\delta = \frac{1,7037}{179,39} \times 100\%$$

$$\tan\delta = 0,949\%$$

Trafo Daya 30 MVA	Data Perhitungan (GΩ)	Nilai Standar IEEE 43-2000 (GΩ)	Keterangan
HV-LV1+LV2+GND	1,91	<1,25-2	Baik
LV1-HV+LV2+GND	2,49	>2	Sangat Baik
LV1+HV+LV2+GND	1,87	<1,25-2	Baik

$$P : 1,63948 \text{ W}$$

$$f : 50 \text{ Hz}$$

$$C : 17371,1 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$V_{out} : 6000 \text{ V}$$

$$\tan\delta = \frac{1,63948}{2,3,14.50.17371,1 \times 10^{-12} .6000^2} \times 100\%$$

Trafo Daya 30 mva	Freq (Hz)	V out (kV)	Watt losses (mW)
Primer	50.000	10.000	2177.37
Secunder	50.000	6.000	1703.74
Tersier	50.000	6.000	1639.48

$$\tan\delta = \frac{1,63948}{196,36} \times 100\%$$

$$\tan\delta = 0,834 \%$$

Setelah mendapatkan data pengukuran serta perhitungan pada tahanan isolasi UAT 30 MVA dengan metode Tangen Delta didapatkan suatu nilai hasil pengujian yang menganut aturan standarisasi ANSI C57.12.90, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6

Tabel 6 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Dengan Metode Tangen Delta

4.4. Analisis Perhitungan Indeks Polarisasi

Hasil pengukuran dan perhitungan tahanan isolasi pada Unit Auxiliary Transformer (UAT) 30 MVA di PLTU Cirebon menggunakan metode Indeks Polarisasi (PI) menunjukkan bahwa kondisi isolasi transformator berada dalam kategori baik. Berdasarkan standar IEEE 43-2000 nilai PI yang menunjukkan isolasi dalam kondisi baik adalah lebih dari 2,0. Nilai ini menunjukkan bahwa bahan isolasi pada transformator masih memiliki kualitas yang memadai untuk memastikan keandalan operasi dan keamanan transformator dalam jangka panjang. Pengujian ini juga menjadi indikator penting untuk mengetahui apakah isolasi bebas dari kelembapan, kontaminasi, atau degradasi yang dapat membahayakan performa transformator.

Pengukuran ini nilai tahanan isolasi diukur pada interval waktu tertentu, yaitu 1 menit dan 10 menit untuk mendapatkan perbandingan. Nilai yang lebih tinggi setelah 10 menit dibandingkan dengan 1 menit menunjukkan bahwa bahan isolasi mampu mengurangi arus permukaan yang disebabkan oleh kelembapan atau kontaminasi sehingga memastikan isolasi dalam kondisi baik.

Namun, hasil pengukuran PI sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, kelembapan dan kondisi lingkungan saat pengujian. Suhu memengaruhi resistansi isolasi karena sifat material isolasi yang cenderung menurunkan nilai resistansi pada suhu yang lebih tinggi. Oleh karena itu, standar IEEE 43-2000 merekomendasikan koreksi hasil pengukuran ke suhu referensi 20°C untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten dan dapat dibandingkan. Selain itu, kelembapan udara di sekitar lokasi pengujian juga memiliki peran signifikan. Kehadiran kelembapan dapat meresap ke dalam bahan isolasi, menurunkan nilai resistansi, dan memengaruhi hasil perhitungan PI.

Kondisi lingkungan lainnya seperti debu, polusi atau keberadaan kontaminasi kimia, juga harus dipertimbangkan karena dapat menyebabkan arus bocor yang tidak diinginkan pada permukaan isolasi. Oleh sebab itu, menjaga kondisi lingkungan yang seragam dan terkontrol selama pengujian menjadi hal yang sangat penting. Pengukuran sebaiknya dilakukan di lingkungan yang bersih dan kering, dengan peralatan yang telah dikalibrasi untuk memastikan akurasi hasil. Hindari juga pengujian saat cuaca ekstrem, seperti hujan atau kelembapan

yang sangat tinggi, karena dapat memengaruhi hasil secara signifikan.

Mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, pengukuran PI pada transformator UAT 30 MVA di PLTU Cirebon yang menunjukkan nilai di atas 2,0 dapat disimpulkan bahwa isolasi transformator berada dalam kondisi baik. Hal ini mencerminkan bahan isolasi yang bersih, kering, dan tidak terdegradasi secara signifikan, sehingga mampu mendukung operasi transformator secara andal.

Trafo	Data	Nilai	Keterangan
Daya 30 mva	Perhitungan	Standar ANSI C57.12.90	
Primer	0,323 %	$\leq 0,5 \%$	Baik
Secunder	0,949 %	$\geq 0,7 \%$ $\leq 1,0\%$	Investigasi
Tersier	0,834 %	$\geq 0,7 \%$ $\leq 1,0\%$	Investigasi

Pengujian berkala dengan metode PI sangat penting untuk memantau kondisi isolasi dan mencegah potensi kegagalan di masa mendatang, terutama untuk transformator berkapasitas besar seperti UAT 30 MVA yang memiliki peran krusial dalam sistem pembangkit listrik..

4.5. Analisis Hasil Pengujian Tan Delta

Hasil pengukuran tan delta ($\tan \delta$) sebesar 0,323% pada primer 0,949% pada Secunder dan 0,834% pada tersier di Unit Auxiliary Transformer (UAT) 30 MVA di PLTU Cirebon menunjukkan bahwa isolasi transformator berada dalam kondisi yang baik, Tetapi perlu dilakukan investigasi lebih lanjut karena bagian secunder dan tersier melebihi 0,7% tetapi masih dibawah 1,0% sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh standar IEEE C57.12.90 dan ANSI/NETA ATS. Nilai $\tan \delta$ ini menunjukkan bahwa kerugian energi pada isolasi lumayan kecil, yang merupakan indikator efisiensi tinggi dan minimnya kebocoran energi akibat sifat dielektrik bahan isolasi. Dengan nilai $\tan \delta$ yang rendah, dapat disimpulkan bahwa material isolasi transformator masih memiliki kualitas dielektrik yang baik, bebas dari kelembapan, kontaminasi, atau degradasi termal yang signifikan.

Pengujian $\tan \delta$ juga memberikan keuntungan dalam mendeteksi potensi masalah isolasi pada tahap awal. Jika nilai $\tan \delta$ mulai meningkat dari waktu ke waktu, hal ini dapat menjadi tanda awal adanya kelembapan, kontaminasi, atau perubahan struktur material isolasi akibat penuaan. Oleh karena itu, pengukuran $\tan \delta$ secara rutin menjadi langkah yang sangat penting dalam program pemeliharaan prediktif transformator, untuk memastikan bahwa sistem isolasi tetap berada dalam kondisi optimal dan mencegah kerusakan yang dapat menyebabkan gangguan operasional.

Secara keseluruhan, nilai $\tan \delta$ sebesar 0,323% pada primer 0,949% pada Sekunder dan 0,834% pada tersier ini menunjukkan bahwa UAT 30 MVA di PLTU Cirebon memiliki efisiensi operasi yang baik, keandalan isolasi yang tinggi, dan potensi umur pakai yang panjang, walaupun pada sisi sekunder dan tersier perlu di investigasi lebih lanjut tetapi UAT masih diperbolehkan untuk beroperasi. transformator tersebut tetap dapat mendukung kelangsungan operasional pembangkit listrik secara stabil tanpa risiko signifikan terkait masalah isolasi.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Hasil pengukuran Indeks Polarisasi (PI) pada UAT 30 MVA di PLTU Cirebon menunjukkan nilai yang melebihi 2,0, sesuai dengan standar IEEE 43-2000. Nilai ini menunjukkan bahwa bahan isolasi bersih, kering, dan tidak terpengaruh oleh kelembapan atau kontaminasi, isolasi berada dalam kondisi baik dan andal.
2. Hasil pengukuran $\tan \delta$ sebesar 0,323% pada primer 0,949% pada Sekunder dan 0,834% pada tersier menunjukkan bahwa isolasi pada Unit Auxiliary Transformer (UAT) 60 MVA di PLTU Cirebon dalam kondisi baik pada bagian primer sesuai dengan standar IEEE C57.12.90 dan ANSI/NETA ATS. Tetapi untuk bagian sekunder tertier dalam kondisi kurang baik dan perlu investigasi lebih lanjut tetapi UAT masih tetap bisa digunakan.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa transformator masih dapat diandalkan untuk mendukung operasional pembangkit listrik tanpa adanya masalah signifikan pada sistem isolasi. Kondisi isolasi yang baik ini mendukung efisiensi energi transformator, mengurangi risiko kerusakan akibat kebocoran arus, dan memastikan kestabilan operasional jangka panjang.

5.2 Saran

1. Lakukan pengukuran PI dan $\tan \delta$ secara berkala sebagai bagian dari program pemeliharaan prediktif. Hal ini penting untuk memantau perubahan nilai yang dapat menjadi indikasi awal adanya kelembapan, degradasi isolasi, atau kerusakan lainnya. Dengan pemantauan rutin, langkah pencegahan dapat dilakukan sebelum terjadi kerusakan yang lebih serius.
2. Pastikan lingkungan operasional transformator dijaga agar bebas dari kelembapan tinggi, kontaminasi debu, dan polusi kimia. Implementasi sistem

pengendalian suhu dan kelembapan pada ruang transformator juga dapat membantu memperpanjang umur pakai isolasi.

DAFTAR REFERENSI

- [1] “PT Cirebon Electric Power (CEP).”
- [2] “B.P.Pemeliharaan, Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga,” 2014.
- [3] IEEE, “IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery IEEE Power and Energy Society,” *The institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc*, vol. 43, pp. 9–14, 2000.
- [4] *C57.12.90-1999 Standard Test Code for Liquid-Immersed Distribution, Power and Regulating Transformers*. IEEE, 1999.
- [5] ade panji Nugraha, “Isolation Resistance Feasibility Test Analysis Based On Polarization Index And Delta Tangen In,” 2023.
- [6] M. F. Robbani, D. Nugroho, and 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, pp. 60–66, 2020.
- [7] R. F. RIFQYAWAN, “Analisis Uji Kelayakan Tahanan Isolasi Trafo 30 MVA di GI 150/20 KV PT APF Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi Dan Tangen Delta,” 2022, *Universitas Islam Sultan Agung*.
- [8] J. T. Elektro, F. Teknik, and U. Tidar, “Uji Kelayakan Belitan Unit Auxiliary Transformer (UAT) PLTU Rembang,” 2021.
- [9] Nugroho R, “Analisis Kegagalan Auto Transfer Antara UAT (Unit Auxiliary Transformer) Dan SST (Station Service Transformer) Dikawasan GTG Indonesia Power Semarang,” pp. 40–46, 2021.
- [10] *IEC 60156 International Standard Norme Internationale Insulating liquids-Determination of the breakdown voltage at power frequency-Test method Isolants liquides-Détermination de la tension de claquage à fréquence industrielle-Méthode d’essai*. 2018. [Online]. Available: www.iec.ch.
- [11] Ir.Basuki Prayitno, *Panduan Pemeliharaan trafo Tenaga*. 2003.
- [12] D. Sebagai and S. Satu, “Analisis Kualitas Tahanan Isolasi Pada Transformator Dengan Preventive Maintenance Di Gardu Induk Garuda Sakti Tugas Akhir.”

IDENTITAS PENULIS

Nama : Muhammad Erwin Gunawan
NIDN/NIK : 3324111703010002
TTL : Kendal 17 Maret 2001
Gol / Pangkat : -
Jabatan : -
Alamat Rumah : Kendal Jateng
Telp. : 088988030884
Email : erwinmuhammadd117@gmail.com

Nama : Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin,
M.T.
NIDN/NIK : 0618066301
TTL : Semarang 18 Juni 1963
Gol/ Pangkat : Guru Besar/IV-B
Jabatan : Dosen Teknik Elektro Unissula
Alamat Rumah : Jupiter V/A-11 Jangli Permai
Semarang
Telp. : 081327606691
Email : haddin@unissula.ac.id