

ANALISIS KONDISI TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA 125 MVA MENGGUNAKAN INDEKS POLARISASI TANGEN DELTA DAN BREAKDOWN VOLTAGE DI PLTU TENAYAN RAYA 2 X 110 MW

Usaha Situmeang¹, Bagus Mulyanto², Masnur Putra Halilintar³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning

Jl. Yos Sudarso km. 8 Rumbai, Pekanbaru, Telp. (0761) 52324

Email: ¹usaha@unilak.ac.id, ²bagusmulyanto19@gmail.com, ³masnur@unilak.ac.id

Abstract— The continuous use of transformers can cause the insulation quality of the transformer to decrease. The reduced insulation quality of the transformer can cause damage to the transformer. One way to find out the damage that occurs in the transformer insulation is to measure the insulation resistance. The measurement of insulation resistance aims to determine the insulation conditions between the winding and ground or between the two windings. The method used to measure the insulation resistance is the Polarization Index, Tangent Delta, and Breakdown Voltage Methods. The result of this research is that the polarization index value of the transformer is stated to be in good condition with the IP HV-Ground value of 2.05, the IP LV-Ground value of 1.65, and the HV-LV IP value of 2.05. The results of the tangent delta CHG test based on the ANSI C 57.12.90 standard are in the good category. This is because the value of the tangent delta CHG is smaller than 0.5%, which is 0.36%. The results of the tangent delta CHL test based on the ANSI C 57.12.90 standard are in the good category. This is because the value of the tangent delta CHL is less than 0.5%, which is 0.19%. The results of the tangent delta CLG test based on the ANSI C 57.12.90 standard are in the good category. This is because the value of the tangent delta CLG is smaller than 0.5%, which is 0.24%. Then the quality of transformer insulation in 2021 is better than 2020. This happens because the value of power losses in CHG, CLG, and CHL in 2021 is smaller than in 2020. The breakdown voltage test results show good conditions with a value of more than 50 kV.

Keywords: Breakdown Voltage, Insulation Resistance, Polarization Index, Transformer, and Tangen Delta.

Intisari— Penggunaan transformator secara terus menerus dapat menyebabkan kualitas isolasi transformator menurun. Kualitas isolasi transformator yang menurun dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Salah satu cara yang dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada isolasi transformator adalah dengan melakukan pengukuran tahanan isolasi. Pengukuran tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi antara belitan dengan ground atau antara dua belitan. Metode yang digunakan untuk melakukan pengukuran tahanan isolasi adalah Metode Indeks Polarisasi, Tangen Delta, dan Breakdown Voltage. Hasil dari penelitian ini adalah nilai indeks polarisasi transformator dinyatakan dalam kondisi baik dengan nilai IP HV-Ground 2,05, nilai IP LV-Ground 1,65, dan nilai IP HV-LV adalah 2,05. Hasil uji tangen delta CHG berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 berada dalam

kategori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangen delta CHG, CHL, dan CLG lebih kecil dari 0,5 %. Hasil pengujian Breakdown Voltage pada tahun 2021 berdasarkan standar IEC 60422-2013 menunjukkan kondisi isolasi transformator berada dalam kondisi yang bagus dengan nilai lebih dari 50 kV.

Kata Kunci: Breakdown Voltage, Indeks Polarisasi, Transformator, Tahanan Isolasi, dan Tangen Delta.

I. PENDAHULUAN

Di era globalisasi energi listrik memiliki peran penting dalam kemajuan pembangunan nasional. Setiap pembangunan yang dilakukan memerlukan energi listrik. Kebutuhan energi listrik pada tahun 2016 hingga tahun 2050 diproyeksikan meningkat lebih dari 7 kali lipat. Semula pada nilai 230,14 TWh menjadi 1.611 TWh. Oleh sebab itu kebutuhan atas energi listrik menjadi meningkat seiring dengan pembangunan nasional. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut diperlukan pembangkit listrik seperti yang ada di PLTU Tenayan 2 X 110 MW Pekanbaru- Riau.

PLTU Tenayan 2 X 110 MW merupakan salah satu pembangkit yang dimiliki oleh PT.PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan Sumatera Bagian Utara (UIKSBU) yang bergerak dalam bidang penyediaan tenaga listrik. Salah satu peralatan listrik yang terpenting pada PLTU Tenayan 2 X 110 MW adalah transformator daya. Transformator daya merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan tenaga atau daya listrik dari pembangkit untuk kemudian disalurkan ke Gardu Induk[1]. Transformator daya memiliki peran penting dalam sistem tenaga listrik sehingga apabila terjadi kerusakan dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar. Untuk menghindari terjadinya kerusakan pada transformator daya diperlukan perawatan. Salah satu bagian penting yang harus selalu dirawat pada transformator daya adalah bagian isolasinya.

Isolasi Transformator berfungsi untuk mengisolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan serta untuk mengisolasi bagian-bagian antara fasa yang bertegangan[2]. Penggunaan transformator secara terus menerus dapat menyebabkan kualitas isolasi transformator menurun. Kualitas isolasi transformator yang menurun dapat menyebabkan kerusakan pada transformator. Salah satu cara

yang dilakukan untuk mengetahui kerusakan yang terjadi pada isolasi transformator adalah dengan melakukan pengukuran tahanan isolasi. Metode yang digunakan untuk melakukan pengukuran tahanan isolasi adalah Metode Indeks Polarisasi, Tangen Delta, dan Breakdown Voltage.

Metode indeks polarisasi bertujuan untuk menentukan keadaan isolasi antara dua belitan atau antara belitan dan bumi. Dengan mentransfer sumber arus searah, nilai resistansi isolasi dalam megaohm meter yang biasanya memiliki kapasitas uji 500 V, 1000 V, 2500 V dan 5000 V. Tahanan isolasi yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang melalui isolasi atau arus yang melewati jalur kebocoran pada permukaan luar. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu, kelembapan dan jalur kebocoran ke permukaan yang dipengaruhi oleh adanya kotoran yang menempel pada insulasi[3].

Metode tangen delta merupakan salah satu metode pengujian untuk mengetahui kondisi isolasi transformator. Kegagalan yang terjadi dalam pengeoperasian peralatan listrik tegangan tinggi sering kali merupakan akibat dari tidak baiknya kondisi insulasi. Metode tangen delta dapat memprediksi keadaan isolasi pada transformator. Pengujian tangen delta menunjukkan kekuatan isolasi, kehilangan daya dielektrik dan kelembapan berbagai macam bahan isolasi[4].

Metode Breakdown Voltage bertujuan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stres tegangan. Minyak yang jernih dan kesing akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi. Air bebas dan partikel solid maupun gabungan dari keduanya dapat menurunkan breakdown voltage secara dramatis. Rendahnya nilai breakdown voltage menandakan adanya kontaminan dan tingginya nilai breakdown voltage belum menjadi jaminan bebasnya dari kontaminan[5].

Berdasarkan uraian diatas peneliti ingin melakukan penelitian tentang analisa kondisi tahanan isolasi transformator daya dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi, Tangen Delta, dan Breakdown Voltage di PLTU Tenayan Raya 2 x 110 MW.

II. LANDASAN TEORI

a. Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan/mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu[6]. Transformator merupakan salah satu alat listrik yang banyak digunakan pada bidang tenaga listrik dan bidang elektronika. Berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis dan dimana perbandingan tegangan antara sisi sekunder dan sisi primer berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan serta berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

b. Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah[7]. Tahanan isolasi didefinisikan sebagai suatu yang diukur dari isolasi antara

belitan dan inti besi pada trafo. Tahanan isolasi bertujuan agar dapat membatasi arus antara belitan dan inti besi.

c. Metode Indeks Polarisasi

Metode indeks polarisasi adalah método yang umum dilakukan dengan memberikan tegangan DC dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan megaohm[8]. Tujuan dari pengujian indeks polarisasi adalah untuk memastikan peralatan yang digunakan layak digunakan. Umumnya indeks polarisasi membandingkan resistansi dalam satuan menit dan dalam satuan puluhan menit.

d. Metode Tangen Delta

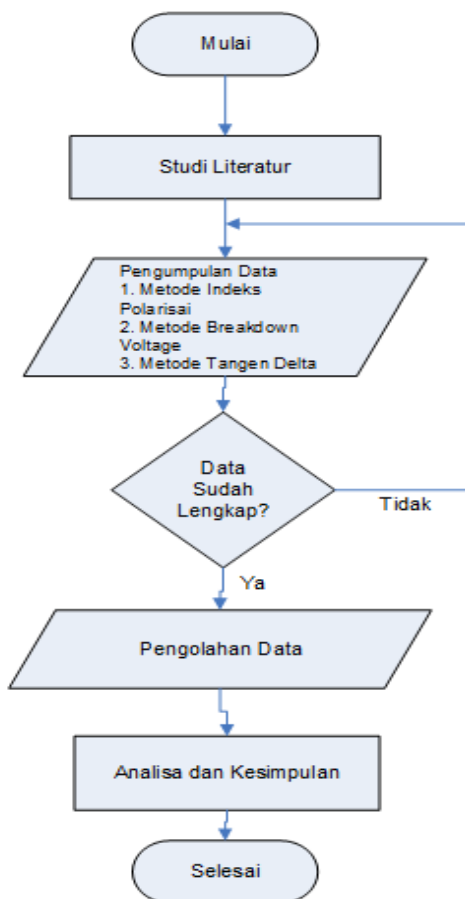
Salah satu pengujian yang dilakukan terhadap minyak isolasi adalah pengujian tangen delta. Metode Tangen Delta adalah tes diagnostik yang dilakukan pada isolasi kabel dan belitan[9].

e. Metode Breakdown Voltage

Pengujian Breakdown Voltage adalah pengujian tegangan ketika isolator sudah tidak sanggup menghadapi tekanan berupa medan listrik diantara elektroda yang mempunyai beda potensial sehingga isolator berubah menjadi konduktor [10].

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, dimana data yang diperoleh merupakan data dalam bentuk angka-angka untuk dilakukan proses perhitungan dan dianalisis. Metode ini digunakan untuk mengolah data dengan menggunakan rumus-rumus tertentu yang berkaitan dengan penelitian. Pengumpulan data dilakukan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data yang dikumpulkan berupa spesifikasi transformator, data pengukuran FAT, data assessment, data Indeks Polarisasi, Data Tangen delta, dan data Breakdown Voltage pada tahun 2020 dan 2021. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data transformator pada Tahun 2020 dan Tahun 2021 dan melakukan pengukuran pada transformator dengan menggunakan alat-alat ukur pada setiap metode yang digunakan. Untuk pengujian Indeks Polarisasi menggunakan alat Megger MIT 1025, pengujian Tangen Delta menggunakan alat bantu Omicron CPC 100, dan pengujian *Breakdown Voltage* menggunakan alat HCJ-9905B. Setelah data terkumpul dilakukan pengolahan dan analisis terhadap kondisi daya tahan isolasi transformator. Analisa yang dilakukan berdasarkan hasil uji Indeks Polarisasi, Tangen Delta, dan Breakdown Voltage di PLTU Tenayan 2 X 110 MW adalah dengan membandingkan hasil uji berdasarkan standar yang digunakan pada setiap uji yang dilakukan. Standar uji yang digunakan adalah IEEE C57.152-2013 untuk pengujian Indeks Polarisasi, ANSI C 57.12.90 untuk pengujian tangen delta, dan IEC 60422-2013 untuk pengujian breakdown voltage. Standar tersebut digunakan berdasarkan standar yang digunakan PLTU Tenayan Raya saat dilakukan assessment transformator. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis Data Pengujian Tahanan Isolasi Transformator

1. Indeks Polarisasi

Hasil indeks polarisasi pada data Factory Acceptance Testing (FAT) di temperatur 29 °C dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Indeks Polarisasi FAT

	Indeks Polarisasi
HV – Ground	1,52
LV – Ground	1,61
HV – LV	1,54

Nilai indeks polarisasi berdasarkan data Factory Acceptance Testing (FAT) yang diukur dengan temperatur 29 °C dapat disimpulkan keseluruhannya dalam kondisi cukup berdasarkan standar IEE C57.152- 2013. Hal ini dikarenakan nilai IP HV – Ground adalah 1,52, nilai IP LV – Ground adalah 1,61, dan nilai IP HV-LV adalah 1,54. Sehingga transformator ini layak untuk dioperasikan.

Perhitungan nilai Indeks Polarisasi pada tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil Indeks Polarisasi Tahun 2020

	Indeks Polarisasi
HV – Ground	2,99
LV – Ground	1,25
HV – LV	2,12

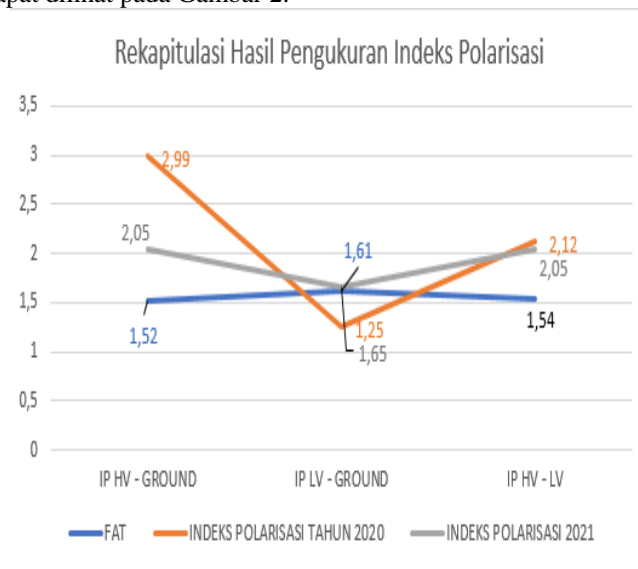
Nilai indeks polarisasi pada LV- Ground adalah sebesar 1,25 yang berarti dipertanyakan. Nilai Indeks Polarisasi HV – Ground dan HV – LV berada dalam kondisi yang baik. Hal ini dikarenakan nilai IP HV -Ground dan nilai IP HV- LV adalah 2,99 dan 2,12. Karena nilai Indeks Polarisasi LV- Ground 1,25 diperlukan uji kadar minyak dan tangen delta untuk mengetahui apakah transformator dalam kondisi baik.

Perhitungan nilai Indeks Polarisasi pada tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Indeks Polarisasi Tahun 2021

	Indeks Polarisasi
HV – Ground	2,05
LV – Ground	1,50
HV – LV	2,05

Nilai indeks polarisasi transformator dinyatakan dalam kondisi baik. Hal ini dikarenakan nilai IP HV- Ground, IP LV- Ground, dan HV-LV adalah 2,05, 1,65, dan 2,05. Berdasarkan IEEE C57.152- 2013 dapat disimpulkan transformator dalam kondisi baik. Rekapitulasi hasil pengukuran Indeks Polarisasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Indeks Polarisasi

2. Analisis Pengaruh Resistansi Terhadap Waktu

Resistansi adalah kemampuan suatu bahan benda untuk menghambat atau mencegah aliran arus listrik. Arus listrik adalah banyaknya muatan listrik yang mengalir dalam suatu rangkaian listrik dalam tiap satuan waktu. Semakin lama pengukuran waktu yang dilakukan maka semakin besar nilai resistansi.

3. Pengujian Tangen Delta

Berdasarkan hasil pengujian pada kondisi Factory Acceptance Testing (FAT) kondisi trafo dalam kondisi yang baik karena nilai uji tg δ % lebih kecil dari 0,5%.

Data pengujian tangen delta pada tahun 2020. Perhitungan hasil pengujian tangen delta CHG dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Hasil Pengujian Tangen Delta Tahun 2020

Pengukuran	Tegangan (V)	Kuat Arus (mA)	Watts (P)	Pf %	Cap (pF)
CHG	10,000	12.397	0.388	0.303	3986.2
CLG	10,000	36.219	0.889	0.237	11645.4
CHL	10,000	16.908	0.342	0.196	5436.4

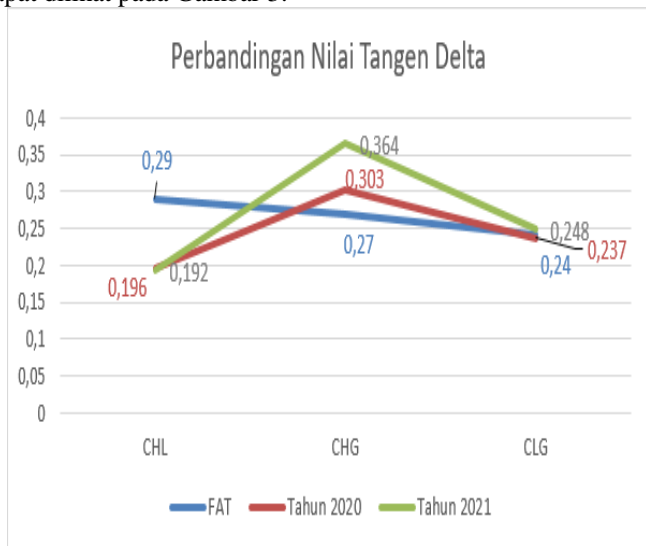
Hasil uji tangeren delta CHG berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CHG lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,31 %. Hasil uji tangeren delta CLG berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CLG lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,24 %. Hasil uji tangeren delta CHL berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CHL lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,20 %.

Data pengujian tangeren delta pada Tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Tangeren Delta Tahun 2020

Pengukuran	Tegangan (V)	Kuat Arus (mA)	Watts (P)	Pf %	Cap (pF)
CHG	10,000	12,486	0,454	0,3642	3,9707
CLG	8,000	29,335	0,582	0,2484	11,658
CHL	10,000	17,093	0,328	0,1923	5,4399

Hasil uji tangeren delta CHG berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CHG lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,36 %. Hasil uji tangeren delta CLG berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CLG lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,24 %. Hasil uji tangeren delta CHL berdasarkan standar tangeren delta berada dalam ketegori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangeren delta CHL lebih kecil dari 0,5 % yaitu 0,19 %. Rekapitulasi perbandingan nilai Tangeren Delta dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Tangeren Delta

4. Analisis Pengaruh Arus Resistif (IR) Terhadap Losses Daya Tahun 2020

Untuk menentukan nilai IR pada isolasi transformator adalah sebagai berikut.

Perhitungan Nilai IR CHG pada Tahun 2020

$$I_R = \frac{0,388}{10000} \tag{1}$$

$$I_R = 0,0000388 A$$

$$I_R = 0,0388 mA$$

Perhitungan Nilai IR CLG pada Tahun 2020

$$I_R = \frac{0,889}{10000} \tag{2}$$

$$I_R = 0,0000889 A$$

$$I_R = 0,0889 mA$$

Perhitungan Nilai IR CHL pada Tahun 2020

$$I_R = \frac{0,342}{10000} \tag{3}$$

$$I_R = 0,0000342 A$$

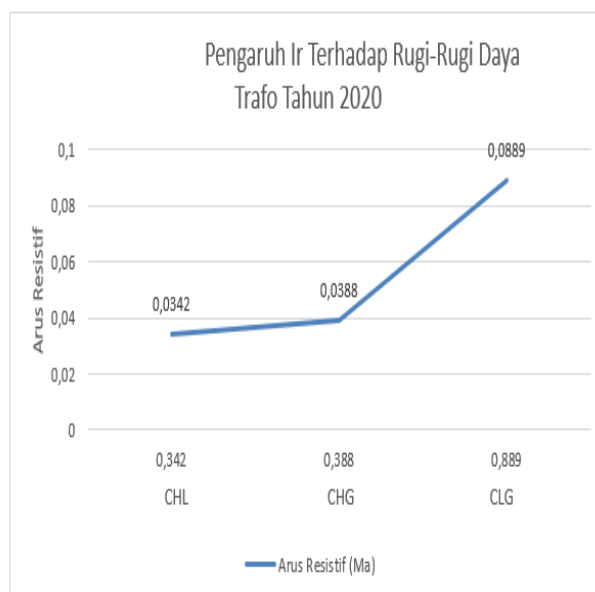
$$I_R = 0,0342 mA$$

Rekapitulasi perhitungan nilai Arus Resistif (IR) pada Tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Data Nilai IR pada Tahun 2020

	CHG	CLG	CHL
Losses Daya (Watt)	0.388	0.889	0.342
Tegangan (V)	10.000	10.000	10.000
Arus Resistif (mA)	0.0388	0.0889	0.0342

Besar pengaruh nilai Arus Resistif (IR) terhadap rugi-rugi daya transformator pada Tahun 2020 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh Ir Terhadap Rugi-Rugi Daya Trafo Tahun 2020

5. Analisis Pengaruh Arus Resistif (IR) Terhadap Losses Daya Tahun 2021

Untuk menentukan nilai IR pada isolasi transformator dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut.

Perhitungan Nilai IR CHG pada Tahun 2021

$$I_R = \frac{0,454}{10000} \tag{4}$$

$$I_R = 0,0000454 \text{ A}$$

$$I_R = 0,0454 \text{ mA}$$

Perhitungan Nilai IR CLG pada Tahun 2021

$$I_R = \frac{0,582}{8000} \tag{5}$$

$$I_R = 0,00007275 \text{ A}$$

$$I_R = 0,07275 \text{ mA}$$

Perhitungan Nilai IR CHL pada Tahun 2021

$$I_R = \frac{0,328}{10000} \tag{6}$$

$$I_R = 0,0000328 \text{ A}$$

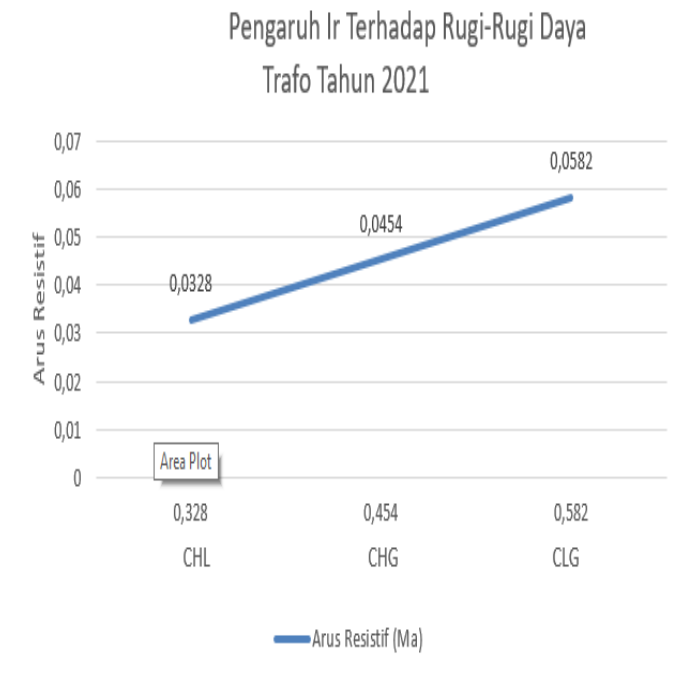
$$I_R = 0,0328 \text{ mA}$$

Rekapitulasi perhitungan nilai Arus Resistif (IR) pada Tahun 2021 dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Data Nilai IR pada Tahun 2021

	CHG	CLG	CHL
Losses Daya (Watt)	0.454	0.582	0.328
Tegangan (V)	10.000	8.000	10.000
Arus Resistif (mA)	0.0454	0.07275	0.0328

Besar pengaruh nilai Arus Resistif (IR) terhadap rugi-rugi daya transformator pada Tahun 2021 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengaruh Ir Terhadap Rugi-Rugi Daya Trafo Tahun 2021 Berdasarkan Gambar 5 semakin tinggi nilai losses daya, maka semakin besar pula nilai arus resistif. Nilai arus resistif

berbanding lurus dengan nilai losses daya. Semakin tinggi nilai arus resistif maka semakin buruk kondisi isolasi transformator. Sebaliknya jika semakin kecil nilai arus resistif maka semakin baik kondisi isolasi transformator.

6. Analisis Data Pengujian Breakdown Voltage

Nilai Breakdown Voltage pada kondisi Factory Acceptance Testing (FAT) adalah 52,6 kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan minyak trafo dalam kondisi yang bagus sesuai dengan standar breakdown voltage.

Data Breakdown Voltage pada saat pemeriksaan tahun 2020. Perhitungan Breakdown Voltage pada tahun 2020 adalah sebagai berikut.

$$V_{b\text{rata-rata}} = \frac{48,1+50,3+60,7+51,1+66,2+69,4}{6} \tag{7}$$

$$= \frac{345,8}{6}$$

$$V_{b\text{rata-rata}} = 57,6 \text{ kV}$$

Nilai Breakdown Voltage pada pemeriksaan tahun 2020 adalah 57,6 kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan minyak trafo dalam kondisi yang bagus sesuai dengan standar breakdown voltage.

Data Breakdown Voltage pada saat pemeriksaan tahun 2021. Perhitungan Breakdown Voltage pada tahun 2021 adalah sebagai berikut.

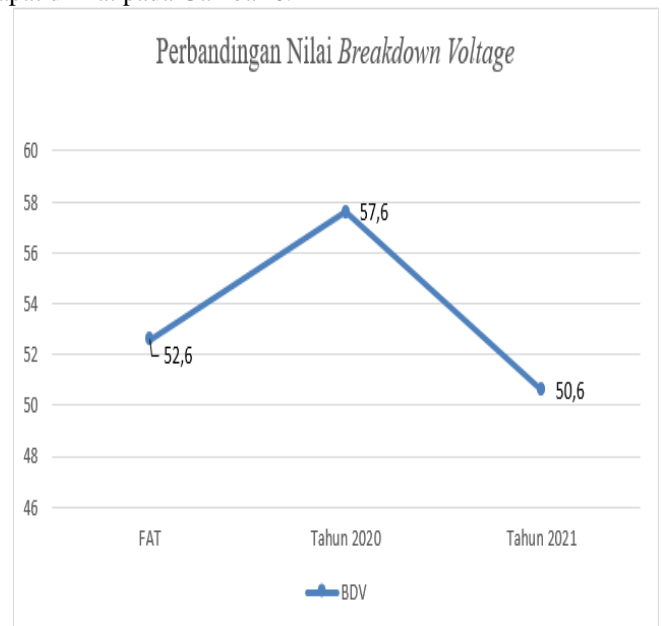
$$V_{b\text{rata-rata}} = \frac{\sum_i^n u_1+u_2+u_3+u_4+u_5+u_6}{6} \tag{8}$$

$$= \frac{51,7+45,5+58,6+52,8+43,7+51,3}{6}$$

$$= \frac{303,6}{6}$$

$$V_{b\text{rata-rata}} = 50,6 \text{ kV}$$

Nilai Breakdown Voltage pada pemeriksaan tahun 2021 adalah 50,6 kV. Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan minyak trafo dalam kondisi yang bagus sesuai dengan standar breakdown voltage. Perbandingan nilai Breakdown Voltage dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Breakdown Voltage

Berdasarkan Gambar 6 pada Tahun 2020 nilai pengukuran breakdown voltage sangat tinggi dibandingkan dengan pengukuran tahun 2021 dan FAT. Hal ini menyebabkan kondisi minyak isolasi dalam menahan tegangan pada tahun 2020 lebih baik dari tahun 2021. Tetapi kondisi minyak isolasi pada tahun 2021 berdasarkan standar breakdown voltage berada dalam kondisi yang bagus, sehingga dapat digunakan dalam menahan stress tegangan.

V. KESIMPULAN

Hasil penelitian tahanan isolasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan nilai Indeks Polarisasi transformator dinyatakan dalam kondisi baik berdasarkan standar IEEE C57.152,2013 dengan nilai IP HV-Ground 2,05, nilai IP LV-Ground 1,65, dan nilai IP HV-LV adalah 2,05. Hasil uji tangen delta berdasarkan standar ANSI C 57.12.90 berada dalam kategori baik. Hal ini dikarenakan nilai tangen delta CHG, CHL, dan CLG lebih kecil dari 0,5 %. Hasil pengujian *Breakdown Voltage* pada tahun 2021 berdasarkan standar IEC 60422-2013 menunjukkan kondisi isolasi transformator berada dalam kondisi yang bagus dengan nilai lebih dari 50 kV.

REFERENSI

- [1] S. Bahri, R. Gianto, dan M. I. Arsyad, "Studi Pertambahan Beban Transformator Daya Pada Gardu Induk Parit Baru PT . PLN (Persero) Cabang Pontianak," *Online*, vol. 2, hal. 8, 2015, [Daring]. Tersedia pada:
<http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/11265>.
- [2] Hermawan, A. Syakur, dan I. Iryanto, "Analisis Gas Terlarut Pada Minyak Isolasi Transformator Tenaga Akibat Pembebanan dan Penuaan," vol. 32, no. 3, 2011.
- [3] 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, hal. 60, 2020, doi: 10.26623/elektrika.v12i2.2721.
- [4] L. Abidin, "Pengujian Dissipation Factor pada Transformator dengan Jumper dan tanpa Jumper Bushing," *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 2, hal. 189–196, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i2.762.
- [5] R. Idris, "Analisis Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Berdasarkan Hasil Uji Indeks Polarisasi, Breakdown Voltage, dan Tangen Delta," 2020.
- [6] Badaruddin dan F. A. Firdianto, "ANALISA MINYAK TRANSFORMATOR PADA TRANSFORMATOR TIGA FASA DI PT X," 2016.
- [7] A. Makkulau, N. Pasra, dan R. R. Siswanto, "Pengujian Tahanan Isolasi Dan Rasio Pada Trafo Ps T15 Pt Indonesia Power Up Mrica," vol. 10, no. 1, hal. 21, 2018.
- [8] A. M. Suganda, "Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya," *Sinusoida Vol. XXIII No. 2 , Desember 2021*, vol. XXIII, no. 2, hal. 1–10, 2021.
- [9] M. S. Anindyantoro, "Analisa tahanan isolasi pada transformator tenaga di gardu induk wonogiri," 2018.
- [10] I. Nyoman Oksa Winanta *et al.*, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," *Ojs.Unud.Ac.Id*, vol. 6, no. 3, 2019, [Daring]. Tersedia pada:
<https://ojs.unud.ac.id/index.php/spektrum/article/download/52807/31268>.