

# *Analysis of Transformer Oil Testing at PT PLN (PERSERO) Skyline Substation*

Analisis Pengujian Minyak Transformator pada PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Skyline

Kristofel Feliks Harnando Putra<sup>1)</sup>, Lily S. Patras<sup>2)</sup>, Maickel Tuegeh<sup>3)</sup> Dept. of Electrical Engineering, Sam Ratulangi University Manado, Kampus Bahu St., 95115, Indonesia E-mails : [kristofelputra@gmail.com](mailto:kristofelputra@gmail.com)<sup>1)</sup>, [lilys\\_patras@yahoo.com](mailto:lilys_patras@yahoo.com)<sup>2)</sup>, [m\\_tuegeh@yahoo.co.id](mailto:m_tuegeh@yahoo.co.id)<sup>3)</sup>

Received:[date] ; revised:[date] ; accepted: [date]

**Abstract** — *This study aims to analyze the quality of transformer oil at PT PLN (PERSERO) Skyline Substation. Transformer oil plays a crucial role as an insulation and cooling material in power transformers, ensuring the transformer operates reliably. In this research, tests were conducted on the water content, breakdown voltage, and tangent delta of transformer oil to ensure they meet the applicable standards. The testing method was performed on samples of transformer oil taken from the Skyline Substation on May 22 and 24, 2023. The test results showed that the breakdown voltage of the transformer oil was in good condition, measuring 58.72 kV, exceeding the set standard. The water content in the oil also met the standard with a value of 20.71 ppm, falling within the acceptable range of 20-30 ppm according to IEC 60422.*

**Keywords** — *Transformer oil, Break Down Voltage; Water Content; Tangen Delta.*

**Abstrak** — *Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitas minyak transformator pada PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Skyline. Minyak transformator memiliki peran krusial sebagai bahan isolasi dan pendingin pada transformator daya, sehingga kondisinya harus dijaga agar transformator beroperasi secara handal. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian kadar air, tegangan tembus, dan tangen delta pada minyak transformator untuk memastikan sesuai dengan standar yang berlaku. Metode pengujian dilakukan pada sampel minyak transformator yang diambil dari Gardu Induk Skyline pada tanggal 22 dan 24 Mei 2023. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan tembus pada minyak transformator dalam keadaan baik, yaitu sebesar 58,72 kV, melebihi standar yang ditetapkan. Kadar air pada minyak juga masih memenuhi standar dengan nilai 20,71 ppm. Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan, dapat disimpulkan bahwa kondisi belitan transformator daya dalam keadaan baik.*

**Kata Kunci** — *Minyak Transformator, Tegangan Tembus, Kadar Air, Tangen delta.*

## I. PENDAHULUAN

Transformator adalah perangkat listrik penting dalam distribusi energi listrik. Transformator step-up di unit pembangkit berfungsi meningkatkan tegangan dari generator sebelum energi listrik dikirim ke gardu induk. Di sana, transformator step-down mengurangi tegangan menjadi tegangan menengah atau primer. Banyak transformator daya menggunakan kumparan yang terendam dalam minyak, terutama yang berkapasitas besar. (Suherman and Akbar 2020a) Minyak transformator penting untuk menjaga operasi transformator. Ini berperan sebagai bahan isolasi cair dan pendingin. Minyak

harus tahan terhadap tegangan tinggi dan mampu meredam panas. Ini melindungi transformator dari gangguan dan memastikan kinerjanya. Keandalan sistem tenaga listrik tergantung pada transformator, dan gangguan pada minyak isolasi bisa mengganggu. Penyebabnya termasuk beban berlebih, usia transformator, dan kelembaban. Penurunan tegangan tembus minyak menunjukkan masalah dan memerlukan perawatan atau penggantian. Agar transformator dapat beroperasi secara berkelanjutan, minyak digunakan sebagai komponen penting. Minyak transformator berfungsi sebagai bahan isolasi cair dan pendingin dalam transformator. Minyak dalam transformator memainkan peran ganda sebagai bahan isolasi dan pendingin. Ini harus mampu mengatasi tegangan tembus dan meredam panas yang dihasilkan. Dengan kombinasi kemampuan ini, minyak bertugas melindungi transformator dari gangguan. Oleh karena itu, untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik, penting untuk mempertahankan minyak isolasi dalam transformator dalam kondisi yang baik. Minyak transformator berfungsi sebagai penghantar panas yang sirkulasinya penting, sekaligus sebagai bahan isolasi dengan ketahanan terhadap tegangan tembus yang tinggi. Salah satu penyebab utama penurunan kualitas dan ketersediaan pasokan daya listrik adalah gangguan yang terjadi pada minyak transformator. Gangguan ini dapat dipicu oleh berbagai faktor, seperti beban transformator yang berat, usia transformator yang sudah tua, atau tingkat kelembaban yang tinggi di dalam transformator. Jika tegangan tembus minyak transformator menjadi rendah, ini menunjukkan adanya masalah pada minyak dan perlu dilakukan perawatan atau penggantian. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengujian kadar air, tegangan tembus, dan tangen delta minyak transformator agar sesuai dengan standar. Judul Tugas Akhir dari beberapa pengujian minyak yang ada, peneliti mencoba mengambil beberapa pengujian yang dilakukan untuk menguji kualitas minyak dan dilakukan di PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Skyline.

### A. Penelitian terkait

Keberadaan minyak pada transformator memiliki signifikansi yang besar, karena bukan hanya berfungsi sebagai isolasi, tetapi juga sebagai pendingin bagi elemen-elemen listrik di dalamnya. Ketika transformator terus digunakan, secara bertahap kualitas minyak transformator akan menurun. Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh oksidasi dan pencampuran dengan zat-zat lain yang mengakibatkan kemampuannya sebagai bahan isolasi menjadi terpengaruh. Salah satu solusi

untuk mengatasi situasi ini adalah dengan melaksanakan pengujian berdasarkan parameter tertentu. (Air et al. n.d.)

### B. Transformator Daya

Transformator daya adalah komponen kunci dalam infrastruktur tenaga listrik yang memiliki peran utama dalam mengubah tegangan listrik dari tinggi ke rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran energi listrik, transformator dapat dianggap sebagai inti yang mengatur transmisi dan distribusi energi listrik. Oleh karena itu, diharapkan transformator mampu beroperasi secara optimal dan bahkan tanpa gangguan selama operasionalnya. Karena peran vital transformator ini, perawatannya harus dilakukan dengan sangat baik. Dalam hal ini, pemeliharaan transformator harus dilakukan menggunakan sistem dan peralatan yang sesuai, efektif, dan tepat. Kepentingan utama bagi tim pemeliharaan adalah memiliki pemahaman yang dalam terhadap seluruh komponen dalam transformator serta kemampuan untuk mengidentifikasi area-area yang memerlukan pemantauan ekstra dibandingkan dengan yang lainnya. Transformator bisa digolongkan berdasarkan tingkat tegangan operasionalnya, termasuk transformator 500/150 kV dan 150/70 kV yang sering disebut sebagai Transformator Interbus (IBT). Selain itu, ada juga transformator 150/20 kV dan 70/20 kV yang dikenal sebagai transformator distribusi. Prosedur pengamanan titik netral dalam transformator perlu disesuaikan dengan persyaratan sistem perlindungan yang berlaku. Misalnya, pada transformator 150/70 kV, titik netralnya dihubungkan langsung ke sisi netral 150 kV, sementara pada transformator 70/20 kV, titik netralnya dapat dihubungkan dengan tahanan rendah, tahanan tinggi, atau langsung ke sisi netral 20 kV sesuai dengan kebutuhan sistem.

### C. Minyak Trafo

Minyak transformator, yang juga dikenal sebagai minyak trafo, merupakan substansi cair yang digunakan untuk tujuan isolasi serta pendinginan dalam transformator. Setengah dari fungsi sebagai bahan isolasi ini mengharuskan kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sementara dalam peran sebagai pendingin, minyak trafo bertugas meredam panas yang dihasilkan. (Danny, H. K., Mujiman, wiwik 2019) Kedua kemampuan utama ini yang melekat pada minyak trafo memberikan harapan bahwa penggunaannya akan melindungi transformator dari gangguan yang tidak diinginkan.

Secara umum, minyak trafo mengandung berbagai senyawa hidrokarbon, termasuk senyawa parafinik, aromatik, dan naftenik. Selain itu, ada juga zat aditif dalam minyak trafo meskipun dalam jumlah yang sangat kecil. Kenaikan suhu pada trafo dapat mengakibatkan perubahan dalam proses hidrokarbon dalam minyak. Indikator penting untuk mengukur ketahanan listrik minyak trafo adalah kerapatan arus konduksi dan nilai tegangan tembus. Beberapa ahli berpendapat bahwa ketahanan listrik minyak trafo dapat menurun karena pengaruh asam dan campuran air dalam minyak. Untuk menetralkan tingkat keasaman minyak trafo, potas hidroksida dapat digunakan, sementara untuk menghilangkan air, dapat digunakan bahan higroskopis seperti silica gel. (Oksa Winanta, Amrita, and Ariastina 2019)

Sebagai pendingin dalam transformator, minyak trafo harus memiliki tingkat kekentalan yang tidak terlalu tinggi agar sirkulasi minyak tetap lancar, sehingga proses pendinginan

dapat berjalan efisien. Kekentalan yang ideal untuk minyak trafo biasanya adalah maksimum 4,2 saat suhu 20 derajat Celsius, tetapi ketika suhunya mencapai 50 derajat Celsius, tingkat kekentalan yang disarankan adalah antara 1,85 hingga 2. Hal ini sesuai dengan karakteristik alami minyak trafo, di mana kekentalannya cenderung meningkat seiring dengan waktu dan pemakaian Sementara itu, sebagai isolator, minyak trafo harus mematuhi syarat-syarat yang ditetapkan oleh SPLN (1980) untuk menjalankan fungsinya dengan baik.

a. Syarat-syarat yang harus dipenuhi yaitu : (Suherman and Akbar 2020b)

#### 1) Tingkat Kejernihan

Minyak trafo sebagai isolator harus tetap jernih dan tidak boleh mengandung partikel suspensi atau endapan.

#### 2) Batas Masa Jenisnya

Pembatasan massa jenis dimaksudkan agar air tidak bisa berpisah dari minyak serta tidak melayang.

#### 3) Viskositas Kinematika

Viskositas kinematika memainkan peran kunci dalam proses pendinginan dan menentukan kelas minyak.

#### 4) Titik Nyala tak Rendah

Titik nyala ini perlu diperhatikan dengan saksama karena titik nyala yang rendah mengindikasikan adanya suatu kontaminasi zat gabar yang sangat mudah terbakar.

#### 5) Titik Tuang

Pemilihan peralatan dan jenis minyak isolasi bergantung pada titik tuangnya.

#### 6) Angka Netralitas

Angka netralitas adalah nilai yang dapat mengindikasikan penyusutan minyak dan mendeteksi adanya kontaminasi dalam minyak.

#### 7) Tegangan Tembus

Jika tegangan tembus yang diukur terlalu rendah, ini menunjukkan kemungkinan adanya kontaminasi seperti kotoran, air, atau partikel lain dalam minyak. [1]

### b. Jenis Minyak Trafo

Minyak transformator mineral merupakan minyak yang diperoleh dari proses pengolahan minyak bumi dan berada dalam kisaran antara fraksi minyak diesel dan minyak turbin. Minyak ini memiliki struktur kimia yang sangat kompleks. Sementara itu, minyak transformator sintesis, yang sering disebut sebagai askarel, memiliki beberapa kelebihan, termasuk ketahanan yang tinggi terhadap pembakaran dan oksidasi. Akan tetapi, perlu dicatat bahwa minyak ini bersifat beracun dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit.

### D. Tingkatan standar minyak trafo

TABEL I  
TINGKATAN STANDAR MINYAK TRAF0

No	Standar
1. IEC	International standard
2. BS, ASTM, JIS, SNI	National specifications
3. ABB, GEC-Ahlstrom, Unindo	Transformer producer specifications
4. TNB, PLN	Power distributor specifications

### E. Pengujian Minyak Trafo

Biaya sebuah transformator memang tinggi, namun memonitor kinerja transformator melalui kondisi minyak memiliki biaya yang lebih terjangkau dibandingkan dengan biaya yang akan muncul jika transformator mengalami kegagalan. Oleh karena itu, dengan pendekatan ini, diharapkan masa operasional transformator dapat mencapai 40 tahun atau bahkan lebih, terutama jika menggunakan minyak trafo berkualitas tinggi. (Rahayu, Okvasari, and Diantari 2019) Studi yang dilakukan oleh Perusahaan Inspeksi dan Asuransi di Amerika Serikat menunjukkan bahwa 10% kegagalan pada transformator disebabkan oleh deteriorasi bahan isolasi dan kegagalan internal akibat beban berlebih pada lilitan tegangan tinggi yang disebabkan oleh penumpukan endapan atau lumpur (sludge). (Karim 2018) Karena itu, menjaga kualitas minyak adalah suatu keharusan untuk memastikan kinerja yang handal dari peralatan listrik, terutama transformator. Para pakar yang berkompeten telah merancang pedoman berupa standar pengujian dan spesifikasi teknis, seperti IEC, ASTM, dan BS, untuk mengatur hal ini :

- a) IEC 60296-2003 untuk Minyak trafo baru (Minyak isolasi mineral yang tidak digunakan)
- b) SPLN 49-1:1982 IEC 422:1982 yang telah diperbaharui menjadi IEC 422:1989 untuk Minyak trafo yang telah digunakan (Minyak isolasi mineral dalam pelayanan) (Almanda 2021)

### F. Breakdown Voltage Test

1) Uji Tegangan Tembus (Breakdown Voltage Test) merupakan salah satu bentuk pengujian prediktif dalam pemeliharaan yang dilakukan pada minyak isolasi. Prinsipnya melibatkan enam pengukuran percobaan yang berurutan, di mana tegangan secara bertahap dinaikkan, dan pada setiap tahap pengukuran, ada waktu jeda lima menit sebelum tegangan akhirnya merusak isolasi dan terjadi pemutusan arus listrik. Prosedur ini diulang hingga enam kali. (Widyastuti and Wisnuaji 2019) Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan isolasi minyak dalam menghadapi tegangan yang diberikan. Jika nilai Tegangan Tembus yang dibutuhkan tinggi, ini menunjukkan bahwa minyak masih dalam kondisi yang baik. Sebaliknya, jika nilai tersebut rendah, ini dapat mengindikasikan penurunan kualitas minyak isolasi. (Dewira 2018)

Perhitungan ketahanan dielektrik minyak trafo memakai rumus berikut :



Gambar 1. Alat Uji Breakdown Voltage (Megger OTS 60 PB)

$$E_{\text{Rata-rata}} = \frac{V_{b \text{ rata-rata}}}{d} \text{ (kV/mm)} \quad (1)$$

Keterangan :

$V_b$  : Tegangan Tembus (kV)

$E$  : Kekuatan Dielektrik (kV/mm)

$D$  : Jarak Sela (mm)

### G. Water Content

Pengukuran kadar air (Water Content) pada minyak transformator bertujuan untuk mengidentifikasi jumlah air yang terdapat dalam minyak tersebut. (سعيد سيادت 2000) Penyebab utama peningkatan kadar air dalam isolasi transformator dapat disebabkan oleh dua faktor utama, yakni infiltrasi air dari lingkungan luar seperti udara atmosfer, dan juga degradasi pada selulosa dan minyak transformator itu sendiri. Kandungan air dalam minyak dapat ada dalam dua bentuk, yakni terlarut dalam minyak dan juga sebagai senyawa hidrat, di mana dalam bentuk ini molekul-molekul air terikat dalam struktur padat tertentu. (Christine Widyastuti, Oktaria Handayani 2018)

Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian kadar air dalam minyak transformator ini ialah :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana :

$m$  = Massa botol timang yang sebelum berisi minyak

$m_1$  = Trafo (gram) massa botol timang yang berisi minyak trafo (gram)

$m_2$  = Massa botol timang yang berisi minyak trafo setelah di panaskan (gram)

### H. Tangen Delta

Pengujian tangen delta adalah metode yang digunakan untuk menilai kualitas isolasi pada belitan dengan cara mengukur kerugian dielektrik melalui arus bocor yang bersifat kapasitif. Dalam pengujian ini, transformator yang sedang diuji dianggap bekerja seperti kapasitor ideal. Ketika kapasitor ideal menerima tegangan AC sinusoidal, fase arus yang mengalir dalam kapasitor akan mendahului fase tegangan sebesar 90 derajat. (Robbani, Nugroho, and Gunawan 2020) Namun, karena adanya kerugian daya dielektrik, sudut antara arus dan tegangan tidak lagi tepat 90°. Faktor daya dari kapasitor ini disebut dengan  $\cos \phi$ , dengan  $\phi$  adalah sudut fasa kapasitor. Sudut kehilangan daya (loss angle) dapat dihitung sebagai  $\delta = 90^\circ - \phi$ . Dengan demikian, faktor dissipasi dapat juga digambarkan sebagai  $\tan \delta$ . Pada kondisi ideal kapasitor, nilai  $\phi$  akan mencapai 90°, sehingga  $\delta$  akan menjadi 0. Dalam kasus ini, kerugian daya dalam kapasitor ideal akan nol, sebagaimana dijelaskan dalam IEC 61620. (Multi and Handojo 2022)





Gambar 2 Alat Uji Kadar Air (Aquamax KF Coulometric)

$$I_c = V \omega C \quad (3)$$

Keterangan :

 $I_c$  = Arus Kapasitif (A)

V = Tegangan (V)

 $\omega = 2\pi f$ 

C = kapasitansi (F)

Lalu nilai R (resistansi) yang terdapat pada media isolasi dapat menyebabkan timbulnya arus resistif ( $I_r$ ), dimana arus resistif sendiri sejajar dengan tegangan.

$$I_r = \frac{V}{R} \quad (4)$$

Dan  $I_r$  yang timbul akan menyebabkan terjadinya losses daya (Watt Loss). Jadi semakin besar nilai R pada media isolasi nya maka akan semakin besar losses dayanya dan akan mengakibatkan turunnya nilai isolasi.

$$P = V \cdot I_r \quad (5)$$

$$I_r = \frac{P}{V} \quad (6)$$

Keterangan :

 $I_r$  = Arus Resistif (A)

V = Tegangan (V)

P = Losses Daya (W)

R = = Nilai Resistansi ( $\Omega$ )

Sementara tangen delta sendiri merupakan hasil dari perbandingan antara arus resistif dengan arus kapasitif, dimana rumus tangen delta yang di dapat sebagai berikut.

$$\tan \delta = \frac{I_r}{I_c} \quad (7)$$

$$\tan \delta = \frac{P/V}{V \cdot \omega \cdot C} \quad (8)$$

$$\tan \delta = \frac{P}{V \cdot \omega \cdot C} \quad (9)$$

Keterangan :

 $\tan \delta$  = Tangen Delta (%)

P = Losses Daya (W)

V = Tegangan (V)

 $\omega = 2\pi f$ 

C = Kapasitansi (F)

Dalam uji tangen delta pada transformator dan beberapa metoderangkaian pengukurannya, yaitu UST, GST dan GSTg.



Gambar 3. Alat Uji Tan Delta (CPC 100 CP TD 1)

1. Pengujian Tangen Delta pada Transformator Tanpa Penyambungan ke Sistem Tanah (UST) Uji metode untuk mengukur kapasitansi pada gulungan primer dan sekunder transformator tanpa perlu menghubungkannya ke sistem tanah.
2. Pengujian Tangen Delta pada Transformator dengan Penyambungan ke Sistem Tanah (GST) Metode pengujian tangen delta pada transformator yang mencakup pengukuran kapasitansi di antara berbagai komponen, seperti antara gulungan primer dan sistem tanah, antara gulungan primer dan gulungan sekunder, serta antara gulungan primer dan gulungan tersier.
3. Uji Tangen Delta pada Transformator dengan Perangkat Pelindung dan Sistem Tanah (USTg) Proses pengujian tangen delta pada transformator yang melibatkan pengukuran kapasitansi pada gulungan yang terhubung ke sistem tanah, dengan penggunaan perangkat pelindung (Guard) untuk mengisolasi komponen yang tidak sedang diuji. Sebagai contoh, jika kita memiliki gulungan GSTgB, maka kapasitansi pada bagian yang terhubung dengan kabel biru tidak diuji karena diisolasi oleh perangkat Guard.

## II. DATA DAN PERHITUNGAN

### 1) Perhitungan Tegangan Tembus

TABEL II  
Data Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian Ke	Nilai Tegangan Tembus	Nilai Rata-rata
1	59,6 kV	
2	59,7 kV	
3	57,9 kV	58.72 kV
4	56,6 kV	
5	58,8 kV	
6	59,7 kV	

Perhitungan rata-rata tegangan tembus minyak pada Trafo

Daya adalah:

$$V_{b(Rata-rata)} = \frac{59,6+59,7+57,9+56,6+58,8+59,7}{6} = 58,72 \text{ kV}$$

2) Perhitungan kadar air

Sebelum Purifikasi	Setelah Purifikasi
Nilai Water Content	Nilai Water Content
-	20.71 ppm

Dari data pada table di atas dapat diketahui nilai Kadar Air adalah **20,71 ppm**.

3) Perhitungan Tan Delta

Perhitungan Tan Delta pada Trafo Daya adalah :

CH + CHL

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{1,17218}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 13541,6 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{1,17218}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 13541,6} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,2756 \%$$

CH

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,40791}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 3294,8 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,40791}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 3294,8} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,3942 \%$$

CHL

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,76825}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 10245,9 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,76825}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 10245,9} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,2387 \%$$

CL + CLH

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{1,36343}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 15194,3 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{1,36343}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 15194,3} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,2857 \%$$

CL

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,57214}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 4948,9 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,57214}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 4948,9} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,3681 \%$$

CLH

$$\tan \delta = \frac{P}{v^2 \cdot \omega \cdot c} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,76747}{10000^2 \cdot (2,3,14,50) \cdot 10246,1 \cdot 10^{-12}} \times 100\%$$

$$\tan \delta = \frac{0,76747}{10^{-4} \cdot 314 \cdot 10246,1} \times 100\%$$

$$\tan \delta = 0,2385 \%$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengujian dan Pengukuran Transformator

Hasil pengujian dan pengukuran minyak transformator daya di GI Skyline yang telah dilakukan pada tanggal 22 dan 24 mei 2023 Adalah sebagai berikut:

##### a) Hasil Pengujian/pengukuran BDV (Breakdown Voltage )

Tegangan tembus adalah parameter yang sangat relevan untuk menilai kemampuan minyak isolasi dalam melaksanakan perannya sebagai cairan isolasi pada peralatan transformator. Tegangan tembus juga memberikan gambaran tentang sejauh mana daya tahan suatu bahan isolasi terhadap tegangan tinggi sebelum terjadi kegagalan. Pengujian tegangan tembus dilakukan sebanyak enam kali pada setiap sampel uji untuk mendapatkan nilai rata-rata yang lebih akurat. Tabel di bawah ini menunjukkan hasil pengujian dan pengukuran selama pemeliharaan transformator. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa nilai yang dicapai adalah 58,72 kV untuk minyak transformator yang telah digunakan.

TABEL IV  
DATA HASIL PENGUJIAN BREAKDOWN VOLTAGE

Hasil Pengujian BDV			
Pengujian Ke	Suhu Minyak	Nilai Tegangan Tembus	Nilai Rata-rata
1	30°C	59,6 kV	
2	30°C	59,7 kV	
3	30°C	57,9 kV	58.72 kV
4	30°C	56,6 kV	
5	30°C	58,8 kV	
6	30°C	59,7 kV	

TABEL V  
STANDAR UJI TEGANGAN TEMBUS

Parameter	Metoda	Jenis Trafo	Baik (kV)	Cukup (kV)	Buruk (kV)
Tegangan Tembus (Kv/2.5 mm)	IEC.156-60422 Th.2005	0,A	>60	50 – 60	< 50
		B	>50	40 – 50	< 40
		C	> 40	30 – 40	< 30
		D	< 5	5 – 15	> 15

**Keterangan :**

A = Trafo dengan tegangan kerja 170-400 kV

B = Trafo dengan tegangan kerja 72,5-170 kV

C = Trafo dengan tegangan kerja <72,5 kV

D = Trafo dengan tegangan kerja >400 kv.

Berdasarkan dengan standar uji BDV menggunakan IEC 156-60422/2005 bahwa transformator yang mempunyai tegangan 70 kV / Jenis trafo C. Pada pengujian transformator daya yang dilakukan secara 6 kali berturut-turut dapat dilihat pada tabel diatas mengalami kenaikan dan penurunan yang signifikan dengan data tegangan tembus rata-rata yang dihasilkan sebesar 58,72 kV. Berarti nilai tegangan tembus pada pada minyak transformator dalam keadaan baik yang bernilai >40 kV (lebih dari 40 kV).

*b) Hasil Pengujian/pengukuran Kadar Air (Water Content)*

TABEL VI  
DATA KADAR AIR

Percobaan	Nilai Water Content
1	20.71 ppm

TABEL VII  
STANDAR UJI KADAR AIR IEC 60422

Parameter	Kategori	Baik	Cukup Baik	Buruk
Kadar air	A	< 15	15 – 20	> 20
	B	< 20	20 – 30	> 30
	C	< 30	30 – 40	> 40

**Keterangan :**

A = Transformator dengan Tenaga Kerja 170 – 400 kV

B = Transformator dengan Tenaga Kerja 72,5 – 170kV

C = Transformator dengan Tenaga Kerja < 72,5

Dari data kandungan air pada tabel di atas, yang menunjukkan bahwa sampel minyak transformator memiliki nilai sebesar 20,71 ppm, hampir mencapai standar IEC 60422. Standar ini mematok interval 20 - 30 ppm sebagai kriteria isolasi yang cukup baik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa kondisi

isolasi minyak transformator masih cukup baik, dan kemungkinan kerusakan pada minyak transformator sudah dapat terdeteksi. Untuk menjaga kondisi ini, disarankan untuk melakukan pengecekan dan pengujian minyak transformator secara rutin, serta memeriksa parameter lain seperti tegangan tembus.

*c) Hasil Pengujian/pengukuran Tan Delta*

TABEL VIII  
KLASIFIKASI KONDISI HASIL UJI TANGEN DELTA

Hasil uji	Kondisi
< 0,5 %	Bagus
≥ 0,5 % - 0,7 %	Mengalami penurunan
≥ 0,7 % - 1,0 %	Perlu investigasi
≥ 1,0 %	Jelek, perlu reklamasi

TABEL IX  
DATA HASIL UJI TAN DELTA

Pengujian	Hasil Uji Tahun 2023	
	Tangen Delta	Keterangan
<i>Inject HV: Primer</i>		
CH + CHL	0,2756	Bagus
CH	0,3942	Bagus
CHL	0,2387	Bagus
<i>Inject HV : Sekunder</i>		
CL + CLF	0,2857	Bagus
CL	0,3681	Bagus
CLH	0,2385	Bagus

Dari hasil uji dan hasil perhitungan bisa disimpulkan kondisi kualitas belitan trafo daya dalam keadaan baik, dikarenakan nilai tangen delta pada tahun 2023 masih dalam kondisi baik dalam standard yang di izinkan kurang dari 0,5% (bagus). berarti pihak PLN sudah melakukan perawatan dengan baik sehingga kondisi isolasi transformatornya semakin baik dari tahun ke tahun. Karena semakin kecil tangen deltanya maka akan semakin baik kondisi isolasi transformatornya begitupun sebaliknya.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. KESIMPULAN

Hasil pengujian dan pengukuran minyak transformator daya di GI Skyline pada tanggal 22 dan 24 Mei 2023 dapat disarikan sebagai berikut: Sesuai dengan standar uji BDV yang mengacu pada IEC 156-60422/2005, transformator dengan tegangan 70 kV dianggap dalam keadaan baik jika nilai tegangan tembus pada minyak transformatornya lebih dari 40 kV, sementara transformator yang buruk memiliki nilai kurang dari 30 kV. Pada transformator daya ini, tegangan tembus rata-rata yang

diukur adalah 58,72 kV, yang menunjukkan bahwa minyak transformator dalam keadaan baik. Selain itu, nilai kadai air (water content) pada sampel minyak transformator adalah sekitar 20,71 ppm, mendekati batas standar IEC 60422 yang berada dalam rentang 20 - 30 ppm. Ini mengindikasikan bahwa isolasi transformator berada dalam kondisi yang cukup baik. Dari hasil uji dan perhitungan ini, dapat disimpulkan bahwa kualitas belitan trafo daya tetap dalam keadaan baik pada tahun 2023, karena nilai tangen delta masih memenuhi standar yang mengizinkan, yaitu kurang dari 0,5%.

#### B. SARAN

Hasil penelitian pengujian minyak transformator di PT PLN (PERSERO) Gardu Induk Skyline telah menghasilkan beberapa rekomendasi yang dapat menjadi dasar untuk penelitian berikutnya. Pertama, perlu memperhatikan data uji BDV (Breakdown Voltage) dan kadar air yang paling mutakhir, tidak hanya bergantung pada data sebelum atau setelah proses purifikasi minyak transformator. Kedua, penting untuk melakukan pengujian tan delta pada data Bhusing, karena saat ini pengujian hanya melakukan pengujian menggunakan data winding. Terakhir, disarankan untuk melakukan perbandingan antara hasil pengujian minyak transformator dengan data uji yang dilakukan secara real-time dengan hasil uji yang dilakukan setiap 2 tahun sekali. Hal ini bertujuan untuk menentukan sisa umur dari isolasi transformator.

#### V. KUTIPAN

- Air, Kandungan, Metode Photo, Acoustic Spectroscope, and Metode Gas Chromatograph. "Pengujian Minyak Transformer."
- Almanda, Deni. 2021. "Analisis Pengujian Tangen Delta Pada Bushing Trafo 150/20 KV 60 MVA Di Gardu Induk Karet Lama." *Analisis Pengujian Tangen Delta pada Bushing Trafo 150/20 KV60 MVA* 5(2): 97–102.
- Christine Widyastuti, Oktaria Handayani, Tasdik Darmana. 2018. "Pengaruh Kadar Air Terhadap Tegangan Tembus." 10(2): 129–36.
- Danny, H. K., Mujiman, wiwik, H. 2019. "Analisis Penambahan Transformator Daya Baru (60 MVA) Untuk Menambahkan Suplai Daya Area Distribusi Pada Gardu Induk Kentungan 150 KV." *Jurnal Elektrikal* 4 (1)(1): 65–73.
- Dewira, Roikhana Farista. 2018. "Analisis Pengujian Breakdown Voltage Minyak Trafo Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis Menggunakan Metode Statistik." : 1–126.
- Karim, Saiful. 2018. "Pengaruh Kondisi Minyak Terhadap Keandalan Sistem Kerja Transformator (Studi Kasus Di Pt. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. Plant 12 Tarjun – Kalimantan Selatan) Tahun." *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 1(2): 41–52.
- Multi, Abdul, and Sigit Pudji Handoyo. 2022. "Analisis Pengukuran Tangen Delta Pada Bahan Isolasi Generator." *Sainstech: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi* 32(1): 9–23.
- Oksa Winanta, I Nyoman, Anak Agung Ngurah Amrita, and Wayan Gede Ariastina. 2019. "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator." *Jurnal SPEKTRUM* 6(3): 10.

- Rahayu, Sofitri, Rudina Okvasari, and Retno Aita Diantari. 2019. "Pengujian Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator 60 MVA Di GIS Kebun Jeruk." *Sutet* 9(1): 46–55.
- Robbani, Muhamad Firdaus, Dedi Nugroho, and Gunawan Gunawan. 2020. "Penentuan Kelayakan Tahanan Isolasi Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Induk 150 KV Tegal Dengan Menggunakan Indeks Polarisasi, Tangen Delta, Dan Breakdown Voltage." *Elektrika* 12(2): 60.
- Suherman, Eri, and M Akbar. 2020a. "Analisis Karakteristik Minyak Transformator Starlite 400 KVA Terhadap Tegangan Tembus." *Teknik Elektro Universitas Darma Persada* X(1): 91–99.
- . 2020b. "Analisis Karakteristik Minyak Transformator Starlite 400 KVA Terhadap Tegangan Tembus." *Teknik Elektro Universitas Darma Persada* X(1): 91–99.
- Widyastuti, Christine, and Rakai Alvin Wisnuaji. 2019. "Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor." *Elektron : Jurnal Ilmiah* 11(2): 75–78.
2000. "زراعت غلات." "No Title 76–1 : (1645)". سيادت سعيد.

#### TENTANG PENULIS



#### **Kristofel Feliks Harnando Putra,**

anak pertama dari dua bersaudara, lahir di Manado pada tanggal 04 Juli 2001. Penulis memulai pendidikan di TK Pertiwi XIII pada tahun 2006 dan melanjutkan ke SD Negeri Kota Raja Jayapura dari 2007 hingga 2013. Setelah itu, penulis melanjutkan ke SMP YPPK St. Paulus Abepura dari 2013 hingga 2016, kemudian melanjutkan di SMA Negeri 4 Jayapura. Pada 2019 penulis melanjutkan pendidikan S1 di Universitas Sam Ratulangi, Sulawesi Utara, di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Elektro. Penulis mengambil minat Tenaga Listrik dan Trgangan Tinggi. Selama Kuliah, penulis tergabung dalam anggota Himpunan Mahasiswa Elektro FT-UNSRAT. Dan penulis menjadi pengurus Himpunan Mahasiswa Elektro Periode 2022-2023. Penulis juga mengikuti magang dikantor PT. Pertamina Geothermal Energy Area Lahendong.