



---

## PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFO DISTRIBUSI 20 kV DI PT. CHAROEN POKPHAND

**Febrino Hotlinus Martua Siregar**

Universitas Negeri Medan

**Dwi Wahyu Sembiring**

Universitas Negeri Medan

**Beudwin Simbolon**

Universitas Negeri Medan

**Olnes Yosefa Hutajulu**

Universitas Negeri Medan

**Desman Jonto Sinaga**

Universitas Negeri Medan

Alamat: Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221

Korespondensi penulis: [febrinosiregar4@gmail.com](mailto:febrinosiregar4@gmail.com)

**Abstrak.** *The 20 kV distribution transformer is a critical component in maintaining the continuity of electrical supply in industrial operations, making routine evaluation of insulating oil quality essential to ensure system reliability. This study aims to analyze the dielectric condition of transformer oil by measuring its breakdown voltage and comparing the results with SPLN 49-1/1982 and IEC 56:1991 standards. Oil samples from three transformer units were tested using the Breakdown Voltage Test method with five repetitions to obtain representative average values. The results indicate that one transformer exhibited a breakdown voltage of 28.14 kV, which is below the minimum standard and signifies insulation degradation due to moisture and contamination. The other two transformers recorded values above 70 kV, indicating that their insulating oil remained in very good condition. These findings confirm that transformer physical conditions, moisture exposure, and maintenance practices significantly influence insulating oil performance. This study concludes that corrective actions such as leakage repair and oil purification are required to restore dielectric quality in the affected transformer unit.*

**Keywords:** *Transformer oil, breakdown voltage, dielectric insulation.*

**Abstrak.** Transformator distribusi 20 kV merupakan komponen penting dalam menjaga kontinuitas suplai listrik pada proses industri, sehingga kualitas minyak isolasi perlu dievaluasi secara berkala untuk memastikan keandalan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi dielektrik minyak transformator melalui pengukuran tegangan tembus dan membandingkannya dengan standar SPLN 49-1/1982 dan IEC 56:1991. Sampel minyak dari tiga unit transformator diuji menggunakan metode Breakdown Voltage Test dengan lima kali pengulangan untuk memperoleh nilai rata-rata yang representatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satu transformator memiliki nilai tegangan tembus sebesar 28,14 kV, lebih rendah dari batas minimal standar, mengindikasikan degradasi isolasi akibat kontaminasi dan kelembapan. Dua transformator lainnya menunjukkan nilai di atas 70 kV yang menandakan kondisi minyak masih sangat baik. Temuan ini mengonfirmasi bahwa kondisi fisik transformator, tingkat kelembapan, dan pemeliharaan rutin berpengaruh signifikan terhadap performa minyak isolasi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa tindakan korektif berupa perbaikan kebocoran dan purifikasi minyak diperlukan untuk memulihkan kualitas dielektrik pada unit yang mengalami penurunan tegangan tembus.

**Kata Kunci:** *Mintak transformator, tegangan tembus, isolasi dielektrik.*

### PENDAHULUAN

Transformator merupakan komponen vital dalam sistem distribusi tenaga listrik industri, karena berfungsi menjaga kestabilan suplai energi bagi seluruh peralatan produksi. Dalam industri

manufaktur berskala besar seperti PT Charoen Pokphand Indonesia, keandalan transformator distribusi bertegangan 20 kV sangat berpengaruh terhadap kontinuitas proses produksi pakan ternak yang beroperasi tanpa henti. Salah satu faktor utama yang menentukan kinerja dan keandalan transformator adalah kualitas minyak isolasi, terutama kemampuan dielektriknya dalam menahan tegangan tembus.

Secara teoritis, minyak transformator berperan ganda sebagai media isolasi dan pendingin. Kualitas minyak akan menurun apabila terkontaminasi oleh air, partikel padat, gas, atau hasil degradasi kimia, yang berakibat pada penurunan kekuatan dielektrik dan meningkatnya risiko kegagalan isolasi. Beberapa penelitian sebelumnya (Santoso et al., 2021; Simanullang & Simamora, 2023) menunjukkan bahwa kontaminasi ringan sekalipun dapat menurunkan nilai tegangan tembus secara signifikan, sehingga meningkatkan potensi gangguan sistem dan kerusakan transformator. Namun, sebagian penelitian tersebut lebih berfokus pada analisis laboratorium, sedangkan data berbasis kondisi lapangan pada sistem distribusi industri masih terbatas.

Permasalahan yang sering terjadi di industri adalah tidak dilakukannya pengujian rutin terhadap minyak transformator, atau adanya keterlambatan dalam mendeteksi degradasi minyak sehingga kerusakan komponen sudah terlanjur terjadi. Di PT Charoen Pokphand Indonesia, penggunaan transformator distribusi 20 kV yang bekerja dalam lingkungan produksi dengan beban fluktuatif menuntut adanya pemantauan kualitas minyak secara berkala. Namun, hasil pengamatan lapangan menunjukkan bahwa salah satu trafo memiliki nilai tegangan tembus di bawah standar SPLN 49-1/1982, yang mengindikasikan adanya potensi kegagalan sistem jika tidak dilakukan tindakan pemeliharaan segera.

Gap analysis dari kondisi ini terletak pada perbedaan antara *das sollen*—yaitu standar nasional yang mensyaratkan daya tembus minimal  $\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ —dengan *das sein* yang menunjukkan nilai tegangan tembus minyak yang berada jauh di bawah batas standar pada salah satu transformator. Selain itu, terdapat kesenjangan penelitian berupa kurangnya studi yang mendokumentasikan performa minyak transformator secara langsung di lingkungan industri pakan ternak, khususnya terkait faktor operasional yang mempengaruhi degradasi minyak.

Kebaruan penelitian (state of the art) terletak pada analisis empiris kondisi minyak transformator distribusi 20 kV yang diuji langsung pada lingkungan industri manufaktur besar, serta perbandingan hasil pengujian lapangan terhadap standar nasional dan praktik pemeliharaan aktual. Studi ini memberikan gambaran faktual mengenai hubungan antara kondisi operasional transformator, kualitas minyak isolasi, dan risiko gangguan sistem.

Berdasarkan latar belakang, permasalahan, serta kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur dan mengevaluasi nilai tegangan tembus minyak transformator distribusi 20 kV di PT Charoen Pokphand Indonesia; (2) membandingkan hasil pengujian dengan standar SPLN 49-1/1982 dan IEC 56:1991; serta (3) menganalisis faktor-faktor penyebab penurunan kekuatan dielektrik minyak sebagai dasar perbaikan strategi pemeliharaan transformator di lingkungan industri.

## **KAJIAN TEORITIS**

### **1. Transformator**

Transformator pertama kali ditemukan pada akhir abad ke-19. Penemuan ini merupakan hasil dari penelitian yang dilakukan oleh ilmuwan seperti Michael Faraday dan Joseph Henry, yang menemukan prinsip dasar induksi elektromagnetik. Namun, transformator modern yang kita kenal saat ini mulai dikembangkan oleh ilmuwan seperti Nikola Tesla dan George Westinghouse, yang berkontribusi pada pengembangan sistem distribusi tenaga listrik AC. Sejak saat itu,

transformator telah menjadi komponen kunci dalam sistem kelistrikan di seluruh dunia, memungkinkan distribusi energi listrik yang efisien dari pembangkit listrik ke konsumen akhir.

Transformator adalah perangkat listrik yang berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan dari arus listrik bolak-balik (AC) dengan menggunakan prinsip induksi elektromagnetik. Alat ini sangat penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, karena memungkinkan pengiriman energi listrik dari satu lokasi ke lokasi lain dengan efisiensi yang lebih tinggi. Transformator dapat meningkatkan (*step-up*) atau menurunkan (*step-down*) tegangan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Prinsip kerja transformator didasarkan pada hukum Faraday tentang induksi elektromagnetik, yang menyatakan bahwa perubahan fluks magnetik dalam suatu rangkaian akan menginduksi gaya gerak listrik (GGL) dalam rangkaian tersebut. Berikut adalah penjelasan lebih mendalam mengenai prinsip kerja transformator:

a. Induksi Elektromagnetik

Ketika arus listrik mengalir melalui kumparan primer, maka akan menciptakan medan magnet di sekitarnya. Medan magnet ini dihasilkan oleh arus yang mengalir dalam kumparan dan memiliki arah yang sesuai dengan arah arus tersebut. Medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan primer ini akan mengalir melalui inti ferromagnetik yang menghubungkan kumparan primer dan sekunder. Inti ini berfungsi untuk memperkuat medan magnet dan mengarahkan fluks magnetik ke kumparan sekunder.

b. Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran dari jumlah garis-garis gaya magnet yang melewati suatu area. Dalam konteks transformator, fluks magnetik yang dihasilkan oleh kumparan primer akan mengalir melalui inti dan mencapai kumparan sekunder. Fluks magnetik ini berfluktuasi seiring dengan perubahan arus dalam kumparan primer, yang dihasilkan oleh arus AC. Perubahan fluks magnetik ini adalah kunci untuk menginduksi arus dalam kumparan sekunder.

c. Induksi GGL

Ketika fluks magnetik yang mengalir melalui kumparan sekunder berubah, maka akan menginduksi gaya gerak listrik (GGL) di kumparan sekunder. GGL ini adalah tegangan yang dihasilkan di kumparan sekunder akibat perubahan fluks magnetik. Besarnya GGL yang diinduksi di kumparan sekunder dapat dihitung dengan menggunakan rumus Faraday:

$$\varepsilon = -N \left( \frac{d\Phi}{dt} \right)$$

d. Rasio Kumparan

Hubungan antara tegangan primer ( $V_1$ ), tegangan sekunder ( $V_2$ ), jumlah lilitan primer ( $N_1$ ), dan jumlah lilitan sekunder ( $N_2$ ) dapat dinyatakan dengan rumus berikut:

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2}$$

Dari rumus ini, dapat dilihat bahwa jika kumparan sekunder memiliki lebih banyak lilitan dibandingkan kumparan primer, maka transformator berfungsi sebagai *step-up transformer*, yang meningkatkan tegangan. Sebaliknya, jika kumparan sekunder memiliki lebih sedikit lilitan, maka transformator berfungsi sebagai *step-down transformer*, yang menurunkan tegangan.

## 2. Minyak Isolasi Transformator

Menurut Simanullang, S., & Simamora, A. M. (2023) minyak Transformator mempunyai fungsi ganda yaitu sebagai bahan isolasi dan pendingin. Sesuai dengan standart PLN, biasanya

jenis minyak trafo yang digunakan pada transformator distribusi adalah *Shell Diala B* dan *Esso Univolt 52*.

Fungsi *Oil Transformer* yaitu :

- a. Fungsi sebagai bahan isolasi yaitu untuk menghindari terjadinya hubung singkat (*short circuit*) antara belitan dengan belitan, belitan dengan inti (*core*), maupun belitan dengan *body* transformator, dan lain – lain.
- b. Fungsi sebagai media pendingin yaitu untuk menyalurkan dan mendistribusikan panas sisi belitan ke radiator transformator, sementara kenaikan temperatur dapat mengakibatkan menurunnya efisiensi daya dan merusak isolasi kertas pada belitan transformator.

Sifat – sifat yang harus dimiliki suatu minyak trafo yaitu tidak mudah terbakar, penghantar panas yang baik dan non konduktif (tidak bersifat menghantar arus listrik).

Minyak transformator berguna untuk mengisolasi tegangan antara *winding* (belitan) dan *core*, *body* dan antara bagian – bagian yang bertegangan lainnya. *Oil* transformator juga berfungsi memindahkan panas yang dibangkitkan oleh *core* dan *winding* ke peralatan pendingin (*radiator*). Oleh sebab itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan karakteristik dibawah ini:

1. Harus mempunyai kekuatan isolasi (*dielectric strength*).
2. Harus mempunyai efek pendingin yang baik atau kekentalan rendah.
3. Harus sudah dimurnikan dan bebas dari material yang dapat menimbulkan karakteristik atau kerusakan material isolasi lainnya.
4. Harus bebas dari material seperti uap air atau partikel lain.
5. Tidak mudah menguap.

### **3. Pengukuran Isolasi Minyak transformator**

Pengukuran tegangan tembus adalah salah satu aspek kritis dalam memeriksa kualitas minyak isolasi trafo. Tegangan tembus adalah tegangan maksimum yang dapat diaplikasikan pada minyak sebelum terjadi insiden tegangan tembus atau "*breakdown*." Setiap transformator harus melewati tes tegangan tembus untuk memastikan minyak isolasi memiliki kekuatan dielektrik yang memadai.

Resistivitas minyak trafo adalah ukuran kemampuannya untuk menghantarkan listrik. Pengukuran resistivitas dapat memberikan informasi tentang kualitas minyak dan tingkat kontaminasi. Minyak dengan resistivitas yang rendah menandakan adanya kontaminan seperti air, partikel logam, atau zat-zat lain yang dapat mengurangi efisiensi isolasi.

Pengukuran warna dan kekeruhan minyak dapat memberikan indikasi visual tentang kondisi minyak. Jika minyak berubah warna atau mengandung partikel yang menyebabkan kekeruhan, ini dapat mengindikasikan kemungkinan kontaminasi atau degradasi minyak.

Pengukuran gas yang terlarut dalam minyak trafo dapat memberikan informasi tentang adanya masalah pada transformator. Jika terjadi degradasi isolasi atau *arcing*, gas-gas yang dihasilkan oleh proses tersebut akan larut dalam minyak. Analisis gas dapat membantu mengidentifikasi potensi masalah dan membantu dalam perencanaan pemeliharaan lebih lanjut.

Pengukuran kandungan air dalam minyak penting karena air dapat menyebabkan penurunan kemampuan isolasi minyak. Jumlah air yang melebihi batas tertentu dapat menyebabkan penurunan nilai tegangan tembus dan meningkatkan risiko terjadinya tegangan tembus.

Tes pengendapan dilakukan untuk memeriksa keberadaan zat-zat padat yang mengendap di dasar wadah minyak. Kehadiran partikel padat ini dapat menyebabkan masalah pada transformator dan mempengaruhi kualitas minyak.

Semua pengukuran ini penting dalam memantau kualitas dan kesehatan minyak isolasi trafo. Tetapi karena kurangnya alat pengukuran yang ada pada PT. Charoen Pokphand Indonesia, oleh karena itu pengukuran yang bisa dilakukan hanya pengukuran tegangan tembus menggunakan alat ukur Megger.

#### **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang bertujuan menganalisis kondisi minyak transformator distribusi 20 kV melalui pengukuran nilai tegangan tembus sesuai standar SPLN 49-1/1982 dan IEC 56:1991. Penelitian dilaksanakan secara langsung di lapangan pada unit transformator PT Charoen Pokphand Indonesia, di mana data diperoleh melalui pengambilan sampel minyak dari tiga transformator distribusi menggunakan prosedur standar pengambilan sampel untuk menghindari kontaminasi udara dan partikel. Sampel yang telah diambil kemudian diuji menggunakan alat Breakdown Voltage Tester seri Hipotronics OC90D-A, dengan pengaturan jarak elektroda 2,5 mm dan kenaikan tegangan bertahap hingga terjadi loncatan listrik. Setiap sampel diuji sebanyak lima kali dengan selang waktu pengujian 30 detik untuk memperoleh nilai rerata tegangan tembus yang representatif. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, dokumentasi, serta pencatatan hasil pengukuran dari alat uji. Data yang diperoleh dianalisis dengan membandingkan nilai tegangan tembus terhadap batas minimal standar dan kemudian ditafsirkan untuk mengidentifikasi kondisi dielektrik minyak serta potensi penyebab penurunan kualitas isolasi. Analisis ini menjadi dasar penentuan kesesuaian kondisi minyak transformator terhadap kriteria kelayakan operasional transformator distribusi di lingkungan industri.

#### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

##### **1. Hasil Pengujian Isolasi Minyak trafo Distribusi**

Hasil pengujian tegangan tembus minyak transformator distribusi 20 kV di PT Charoen Pokphand Indonesia menunjukkan adanya variasi signifikan antara ketiga sampel minyak yang diuji. Pengujian dilakukan dengan metode Breakdown Voltage Test menggunakan alat Hipotronics OC90D-A, di mana setiap sampel diuji sebanyak lima kali, kemudian nilai rata-rata diambil sebagai representasi kekuatan dielektrik minyak.

Tabel 1. Hasil Pengujian Isolasi Minyak Trafo Distribusi 1

Pengujian	Tegangan tembus/2,5 mm (kV)
1	17,4
2	32,0
3	25,3
4	25,2
5	40,8
Rata-rata nilai	28,14

Tabel 2. Hasil Pengujian Isolasi Minyak Trafo Distribusi 2

Pengujian	Tegangan tembus/2,5 mm (kV)
1	72,3
2	74,8
3	74,7
4	75,1
5	74,9
Rata-rata nilai	74,36

Tabel 3. Hasil Pengujian Isolasi Minyak Trafo Distribusi 3

Pengujian	Tegangan tembus/2,5 mm (kV)
1	54,6
2	74,5
3	74,4
4	74,5
5	74,3
Rata-rata nilai	70,46

## 2. Evaluasi Hasil Pengujian

Standar yang digunakan di PT. Charoen Pokphand Indonesia, yaitu Standar SPLN No. 49-1/1982 dan IEC No.56.Thn1991 antara lain mengenai persyaratan dan keandalan minyak transformator dengan daya tembus minyak harus serendah-rendahnya 30 kV /2,5 mm.

Tabel 4. Batas tegangan tembus

Tegangan Kerja	Batas yang Diperbolehkan
≤ 70 kV	≥ 30 kV/2,5mm
70 kV – 170 kV	≥ 40 kV/2,5mm
≥ 170 kV	≥ 50 kV/2,5mm

Berdasarkan hasil pengukuran, minyak pada transformator pertama menunjukkan nilai tegangan tembus rata-rata sekitar 28,14 kV, yang berada di bawah batas minimal standar SPLN 49-1/1982 yaitu 30 kV untuk jarak elektroda 2,5 mm. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa minyak transformator mengalami degradasi isolasi, kemungkinan disebabkan oleh kontaminasi air, partikel, atau proses oksidasi yang berlangsung selama masa operasional. Temuan lapangan menunjukkan adanya indikasi kebocoran pada seal bushing trafo, yang memungkinkan masuknya uap air dan udara ke dalam tangki minyak sehingga menurunkan kemampuan isolasinya.

Sebaliknya, dua sampel lainnya menunjukkan nilai tegangan tembus yang jauh lebih tinggi. Sampel minyak dari transformator kedua memiliki nilai rata-rata sekitar 74,36 kV, sedangkan transformator ketiga memiliki nilai rata-rata sekitar 70,46 kV. Kedua nilai tersebut berada jauh di atas batas minimal standar dan mengindikasikan bahwa minyak isolasi masih berada dalam kondisi sangat baik. Nilai tegangan tembus yang tinggi umumnya menunjukkan bahwa minyak memiliki kandungan air yang rendah, bebas dari partikel konduktif, dan belum mengalami degradasi kimia yang signifikan. Hal ini sejalan dengan pengamatan lapangan yang menunjukkan bahwa transformator kedua dan ketiga tidak mengalami kebocoran fisik serta memiliki jadwal pemeliharaan yang lebih teratur dibandingkan transformator pertama.

Perbedaan hasil antara ketiga transformator menunjukkan bagaimana faktor-faktor operasional dapat mempengaruhi kualitas minyak isolasi. Transformator dengan kondisi fisik yang baik, tidak mengalami kebocoran, dan berada dalam lingkungan yang lebih stabil cenderung mempertahankan kualitas minyak lebih lama. Sebaliknya, transformator yang mengalami kebocoran atau paparan kelembapan akan menunjukkan penurunan kualitas minyak secara signifikan dalam waktu relatif singkat. Temuan ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menegaskan bahwa kontaminasi air beberapa ppm saja mampu menurunkan tegangan tembus minyak secara drastis. Selain itu, kondisi temperatur operasi yang tinggi akibat beban berlebih

atau pendinginan yang kurang optimal juga mempercepat proses penuaan minyak dan pembentukan sludge, yang pada akhirnya mengurangi kemampuan dielektriknya.

Analisis hasil penelitian ini menegaskan pentingnya pemeliharaan preventif dan prediktif terhadap transformator distribusi industri. Pemeriksaan fisik seperti pengecekan kebocoran, pemantauan suhu operasi, serta penggantian atau pemurnian minyak secara berkala sangat diperlukan untuk menjaga keandalan transformator. Dalam kasus transformator pertama, nilai tegangan tembus yang rendah menuntut tindakan segera berupa purifikasi minyak atau bahkan penggantian minyak baru jika degradasi telah terlalu parah. Selain itu, kerusakan pada bushing atau seal perlu diperbaiki untuk mencegah kontaminasi berulang.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun dua dari tiga transformator berada dalam kondisi baik, adanya satu transformator dengan kualitas minyak di bawah standar mengindikasikan perlunya peningkatan sistem monitoring dan pemeliharaan di PT Charoen Pokphand Indonesia. Evaluasi rutin terhadap minyak isolasi tidak hanya akan mengurangi risiko gangguan sistem tenaga listrik, tetapi juga dapat memperpanjang usia transformator dan mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang. Dengan demikian, penelitian ini memberikan pemahaman empiris mengenai pentingnya kualitas minyak transformator terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik industri serta urgensi program pemeliharaan yang lebih sistematis.

### **3. Evaluasi Terhadap Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Penurunan Tegangan Tembus**

Penurunan nilai tegangan tembus pada minyak transformator menunjukkan bahwa kualitas isolasi telah mengalami degradasi akibat faktor-faktor seperti kandungan air, kontaminasi partikel, oksidasi minyak, maupun kebocoran fisik pada trafo. Evaluasi pertama yang perlu dilakukan adalah memastikan kondisi fisik transformator, terutama pada bagian seal, gasket, dan bushing, karena kerusakan atau retakan pada bagian ini memungkinkan masuknya udara dan uap air ke dalam tangki minyak. Perbaikan terhadap kebocoran merupakan solusi dengan dampak paling besar karena menghentikan sumber utama penurunan kualitas minyak. Setelah kebocoran diatasi, langkah berikutnya adalah melakukan proses purifikasi minyak melalui filtrasi vakum atau vacuum dehydration. Metode ini efektif menghilangkan air terlarut, gas-gas degradasi, dan partikel padat yang menjadi penyebab turunnya tegangan tembus. Dalam banyak kasus, purifikasi mampu mengembalikan tegangan tembus ke nilai standar apabila degradasi belum terlalu parah.

Namun, apabila minyak telah mengalami penuaan kimia yang signifikan, misalnya perubahan warna menjadi gelap atau terbentuknya sludge, purifikasi mungkin tidak memberikan hasil optimal. Dalam kondisi tersebut, penggantian minyak menjadi solusi yang lebih efektif untuk mengembalikan kualitas isolasi. Penggantian minyak baru perlu dibarengi dengan pengeringan bagian internal transformator, khususnya isolasi padat berbahan kertas, karena material ini memiliki sifat higroskopis dan menyerap kelembapan dari minyak. Jika kelembapan terserap pada isolasi padat, penurunan tegangan tembus akan bersifat kronis dan tidak dapat diatasi hanya dengan penggantian minyak. Oleh karena itu, metode seperti hot oil circulation dan vacuum drying menjadi penting untuk memastikan bahwa seluruh bagian internal benar-benar bebas dari kelembapan sebelum minyak baru dimasukkan. Selanjutnya, diperlukan evaluasi lanjutan melalui analisis gas terlarut (DGA), karena analisis ini mampu mengidentifikasi apakah terdapat pemanasan berlebih, discharges, atau indikasi kerusakan internal yang memicu degradasi minyak. Hasil DGA menjadi dasar penentuan tindakan teknis selanjutnya, apakah cukup dengan perbaikan minyak atau terdapat masalah lain yang harus ditangani, seperti kerusakan internal pada kumparan atau koneksi. Selain itu, faktor operasional seperti suhu kerja dan beban transformator perlu dievaluasi. Transformator yang beroperasi pada beban tinggi atau sistem pendinginan yang

tidak optimal akan mempercepat penuaan minyak serta meningkatkan pembentukan produk degradasi. Oleh karena itu, pemeriksaan kinerja radiator, kipas pendingin, serta pengaturan beban menjadi bagian dari solusi pencegahan jangka panjang agar nilai tegangan tembus tidak kembali turun.

Melalui evaluasi menyeluruh terhadap kondisi fisik trafo, karakteristik minyak, kondisi operasional, dan analisis kimia, dapat ditentukan solusi terbaik untuk memulihkan nilai tegangan tembus. Keberhasilan solusi ditandai dengan meningkatnya nilai tegangan tembus hingga memenuhi standar minimal serta tidak ditemukannya kembali sumber kontaminasi baru. Dengan penerapan tindakan korektif dan preventif secara simultan, risiko kegagalan transformator dapat diminimalkan dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik dapat kembali terjaga.

## **KESIMPULAN DAN SARAN**

### **1. Kesimpulan**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi minyak isolasi pada tiga unit transformator distribusi 20 kV di PT Charoen Pokphand Indonesia memiliki perbedaan kualitas yang signifikan. Transformator pertama memiliki nilai tegangan tembus rata-rata sekitar 28,14 kV, berada di bawah batas minimal standar SPLN 49-1/1982 yang mensyaratkan nilai minimal 30 kV untuk jarak elektroda 2,5 mm. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi isolasi yang disebabkan oleh kontaminasi air, partikel, atau degradasi kimia yang berkaitan dengan temuan lapangan berupa kebocoran pada bagian bushing. Sebaliknya, transformator kedua dan ketiga menunjukkan nilai tegangan tembus yang jauh di atas standar, yaitu sekitar 74,36 kV dan 70,46 kV, yang menandakan bahwa kualitas minyak pada kedua unit tersebut masih sangat baik dan berada dalam kondisi operasional yang aman. Perbedaan nilai tegangan tembus ini menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti kondisi fisik transformator, tingkat kelembapan, pola beban, dan penerapan pemeliharaan berkala sangat mempengaruhi kualitas minyak isolasi. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemeriksaan rutin dan pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan transformator distribusi di lingkungan industri.

### **2. Saran**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi minyak isolasi pada tiga unit transformator distribusi 20 kV di PT Charoen Pokphand Indonesia memiliki perbedaan kualitas yang signifikan. Transformator pertama memiliki nilai tegangan tembus rata-rata sekitar 28,14 kV, berada di bawah batas minimal standar SPLN 49-1/1982 yang mensyaratkan nilai minimal 30 kV untuk jarak elektroda 2,5 mm. Hal ini mengindikasikan adanya degradasi isolasi yang disebabkan oleh kontaminasi air, partikel, atau degradasi kimia yang berkaitan dengan temuan lapangan berupa kebocoran pada bagian bushing. Sebaliknya, transformator kedua dan ketiga menunjukkan nilai tegangan tembus yang jauh di atas standar, yaitu sekitar 74,36 kV dan 70,46 kV, yang menandakan bahwa kualitas minyak pada kedua unit tersebut masih sangat baik dan berada dalam kondisi operasional yang aman. Perbedaan nilai tegangan tembus ini menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti kondisi fisik transformator, tingkat kelembapan, pola beban, dan penerapan pemeliharaan berkala sangat mempengaruhi kualitas minyak isolasi. Penelitian ini menegaskan pentingnya pemeriksaan rutin dan pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan transformator distribusi di lingkungan industri.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Suganda, A. M. (2021). Analisa Kualitas Tahanan Isolasi Transformator Daya. *Program Studi Teknik Elektro - ISTN, Vol. XXIII No. 2*, 1.

- Santoso, R., Putra, A. D., & Wijaya, M. (2021). *Pengaruh Kandungan Air terhadap Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator di Sistem Distribusi*. *Jurnal Teknologi Energi*, 15(2), 45–52.
- Fitzgerald, A. E., Kingsley, C., Jr., & Umans, S. D. (2003). *Electric machinery*. McGraw-Hill.
- Badaruddin, F. A. F. (2012). Analisa Minyak Transformator Pada Transformator Tiga Fasa di PT. X. 1645, 1-76.
- Aidil, M., & Syukri, M. (2018). Analisis pengaruh suhu akibat pembebanan terhadap susut umur transformator daya di gardu induk Lambaro. *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 3(2), 1-8.
- Sofwan, A., Tias, R. D. & Lubis, N. (2018). Analisis susut umur transformator akibat beban lebih dengan penambahan transformator distribusi sisipan. *Jurnal Program Studi Teknik Elektro - ISTN*, XX(1), 24–33.
- Wen, X., Huang, H., Lin, W., Gao, Y., Wang, X., & Xie, Y. (2019). Fault Diagnosis of Power Transformers: A Review. *IEEE Access*, 7, 122677-122697.
- Permata, I., & Lestari, I. (2020). Maintenance preventive pada transformator step-down 20 kV dengan kapasitas 150kVA di PT. Kereta Api Dayta Listrik. *Proceeding Seminar Nasional Pendidikan FKIP*, 3(1), 343-352. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/psnp/article/view/9842>.
- Menzies, A., & Abdel-Raouf, O. (2021). *Power Transformers: Principles and Applications* (2nd ed.). CRC Press.
- Alim, M., Gunawan, A., Amali, L. M. K., & Tolago, A. I. (2022). Uji kelayakan minyak jarak sebagai bahan isolasi cair pada transformator. *ELECTRICIAN*, 11(2), 41-45.
- Christiano, M., Fikri, M., Damiri, D. J., Safariansyah, M. R., Pratiwi, S., & Hidayat, M. R. (2022). Pengaruh kontaminan air terhadap tegangan tembus isolasi cair minyak mineral dan nabati sebagai alternatif isolasi minyak transformator. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu dan Aplikasi Teknik*, 21(1), 42-51.
- Mubarrok, M. S., & Yanwunasz, N. (2022). Perawatan transformator distribusi untuk menjaga keandalan sistem distribusi jaringan listrik. *Jurnal Elessidea: Elektroteknika, Kolsultasi, Control, Robot, Power, Telekomunikasi, Komputer, AI*, 1(1).
- Gultom, T. T., & Suhelmi. (2022). Purified oil machine sebagai alat untuk maintenance minyak trafo. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2).
- Simanullang, S., & Simamora, A. M. (2023). Purified oil machine sebagai alat untuk maintenance minyak trafo: Purified oil machine as a tool for maintenance of transformer oil. *All Fields of Science J-LAS: Jurnal Penelitian*, 3(2), 152-165.
- Retno Aita Diantari, A., Sofwan, A., & Susanty, A. (2024). Analisis tegangan tembus minyak jarak dan minyak Shell Diala B sebagai isolasi cair transformator. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 2(4), 243–251.
- Mudjiono, U., & Hidayat, E. P. (n.d.). Pengujian tegangan tembus isolasi minyak transformator fasilitas gedung rektorat Universitas Airlangga Surabaya. Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, PPNS - ITS.