



## Analisis Pengujian Awal Transformator Stepdown 20 kV/400 V Sebelum Dialiri Tegangan

**Muhammad Zaky Ayyasy Ardhana<sup>1\*</sup>, Febry Putra Rochim<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang, Indonesia  
Gunung Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah, 50229  
E-Mail \*: [zakyardhana14@students.unnes.ac.id](mailto:zakyardhana14@students.unnes.ac.id)

### **ABSTRACT**

*Transformers are a key component in an electric power distribution system, delivering electrical energy by changing the voltage level to meet load requirements. Transformer reliability significantly impacts the stability of industrial electrical systems, therefore, initial testing is required before energizing the transformer. This Field Work Practice (PKL) aims to analyze the initial testing process of a 20 kV/400 V step-down transformer at PT. Batamindo Investment Cakrawala, specifically in the Power House Department. Data collection methods included direct observation, technician interviews, documentation of test results, and literature review related to transformer testing standards. The tests analyzed included a turns ratio test, an insulation resistance test, and an oil breakdown voltage test. The analysis results indicate that the 1000 kVA three-phase transformer is in good operating condition. The TTR test yielded a maximum deviation of  $\pm 0.074\%$ , which is still within the standard tolerance limit, indicating compliance with the primary and secondary turns ratios. Insulation resistance testing using a Megger showed a value of  $\geq 1000 \text{ M}\Omega$  at a test voltage of 5000 VDC, indicating excellent insulation. Furthermore, the transformer oil BDV test yielded an average value of 40.83 kV, exceeding the minimum standard limit. Based on these test results, the transformer was declared to meet technical requirements and ready for use in industrial power distribution systems.*

**Keywords:** Step-Down Transformer, Transformer Testing, Insulation Resistance, Turns Ratio Test, Breakdown Voltage Test, and Power Distribution System.

### **ABSTRAK**

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem distribusi tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik melalui perubahan tingkat tegangan sesuai dengan kebutuhan beban. Keandalan transformator sangat berpengaruh terhadap kontinuitas dan stabilitas sistem kelistrikan di lingkungan industri, sehingga diperlukan pengujian awal sebelum transformator dioperasikan (energizing). Penelitian ini bertujuan menganalisis proses pengujian awal transformator step-down 20 kV/400 V di PT Batamindo Investment Cakrawala, khususnya pada Departemen Power House. Metode pengumpulan data meliputi observasi langsung, wawancara dengan teknisi, dokumentasi hasil pengujian, serta studi literatur mengenai standar pengujian transformator. Pengujian yang dianalisis meliputi turns ratio test (TTR), insulation resistance test, dan oil breakdown voltage test (BDV). Hasil analisis menunjukkan bahwa transformator tiga fasa berkapasitas 1000 kVA berada dalam kondisi layak operasi. Pengujian TTR menghasilkan deviasi maksimum sebesar  $\pm 0,074\%$ , masih berada dalam batas toleransi standar sehingga menunjukkan kesesuaian rasio lilitan sisi primer dan sekunder. Pengujian tahanan isolasi menggunakan Megger menunjukkan nilai  $\geq 1000 \text{ M}\Omega$  pada tegangan uji 5000 VDC, yang mengindikasikan kondisi isolasi sangat baik. Selain itu, hasil pengujian tegangan tembus minyak transformator (BDV) memperoleh nilai rata-rata sebesar 40,83 kV, melebihi batas minimum yang dipersyaratkan dalam standar pengujian. Berdasarkan hasil tersebut, transformator dinyatakan memenuhi persyaratan teknis dan siap dioperasikan pada sistem distribusi tenaga listrik di lingkungan industri.

**Kata Kunci:** Transformator Step-Down, Pengujian Transformator, Tahanan Isolasi, Turns Ratio Test (TTR), Breakdown Voltage Test (BDV), Sistem Distribusi Tenaga Listrik.



## 1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam mendukung aktivitas industri modern. Hampir seluruh proses produksi pada sektor industri bergantung pada sistem kelistrikan yang stabil, aman, dan memiliki tingkat keandalan tinggi. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan terhentinya proses produksi, kerusakan peralatan, hingga menimbulkan kerugian operasional yang besar. Oleh karena itu, pengelolaan sistem tenaga listrik industri harus dilakukan secara optimal melalui pemeliharaan, pemeriksaan, serta pengujian terhadap seluruh komponen kelistrikan yang digunakan. Salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik adalah transformator. Transformator memiliki peranan sebagai perangkat yang berfungsi untuk mengubah tingkat tegangan listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik tanpa mengubah frekuensi listrik (Akhdiyatul, 2023). Dalam sistem distribusi tenaga listrik, transformator digunakan untuk menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah agar dapat digunakan oleh berbagai peralatan listrik industri. Transformator *step-down* dengan tegangan 20 kV/400 V banyak digunakan pada jaringan distribusi industri karena mampu menyesuaikan kebutuhan suplai listrik dari jaringan utama menuju beban pengguna (Ali, 2024).

Keandalan transformator menjadi faktor yang sangat penting karena kegagalan transformator dapat berdampak langsung terhadap kontinuitas penyaluran energi listrik. Kerusakan pada transformator dapat terjadi akibat berbagai faktor, seperti penurunan kualitas isolasi, gangguan pada sistem lilitan, penurunan kualitas minyak isolasi, maupun kesalahan instalasi (Askan, 2025). Oleh sebab itu, sebelum transformator dioperasikan atau dialiri tegangan (*energize*), diperlukan serangkaian pengujian awal untuk memastikan kondisi transformator berada dalam keadaan baik dan memenuhi standar kelayakan operasi (Febrina, 2022). Pengujian awal transformator atau *pre-energizing test* merupakan salah satu tahapan penting dalam proses instalasi, pemeliharaan, maupun pengoperasian kembali transformator setelah dilakukan pekerjaan teknis. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi internal dan eksternal transformator sebelum terhubung dengan sistem tenaga listrik. Melalui pengujian tersebut dapat diketahui apakah terdapat potensi gangguan yang dapat menyebabkan kegagalan operasi ketika transformator mulai menerima tegangan (Haldigian, 2022).

PT. Batamindo Investment Cakrawala (PT. BIC) merupakan salah satu perusahaan pengelola kawasan industri terpadu yang memiliki sistem kelistrikan sebagai bagian penting dalam mendukung kegiatan operasional industri (MEIDEN, 2012). Melalui Departemen Power House, PT. BIC bertanggung jawab dalam pengelolaan pembangkitan, distribusi tenaga listrik, pemeliharaan jaringan, serta pengujian berbagai peralatan listrik termasuk transformator. Keandalan sistem kelistrikan di kawasan industri Batamindo menjadi aspek utama

untuk menjaga kestabilan pasokan listrik bagi seluruh pengguna kawasan tersebut (Mulyanto, 2022). Dalam sistem distribusi listrik di lingkungan industri, transformator harus memiliki performa yang sesuai dengan standar teknis sebelum digunakan. Salah satu transformator yang menjadi objek pengamatan dalam kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) adalah transformator *step-down* tiga fasa dengan kapasitas 1000 kVA yang memiliki tegangan sisi primer 20 kV dan sisi sekunder 400 V. Transformator ini digunakan untuk mendukung distribusi energi listrik dari sistem tegangan menengah menuju sistem tegangan rendah yang digunakan oleh beban industri (Cakrawala, 2023).

Proses pengujian transformator sebelum dialiri tegangan dilakukan melalui beberapa metode pengujian utama. Pengujian perbandingan lilitan atau Turns Ratio Test (TTR) dilakukan untuk mengetahui kesesuaian rasio antara lilitan primer dan sekunder transformator. Ketidaksesuaian rasio dapat menjadi indikasi adanya gangguan seperti kesalahan sambungan, kerusakan lilitan, atau perubahan kondisi internal transformator (Prasojo, 2022). Selain itu, pengujian tahanan isolasi menggunakan metode Insulation Resistance Test (Megger Test) dilakukan untuk mengetahui kualitas isolasi antara belitan dengan tanah maupun antar belitan. Selain pengujian rasio lilitan dan tahanan isolasi, dilakukan pula pengujian kualitas minyak transformator melalui metode Breakdown Voltage Test (BDV). Minyak transformator memiliki fungsi sebagai media isolasi sekaligus pendingin, sehingga kualitas minyak sangat menentukan keamanan dan keandalan operasi transformator (Prima, 2023). Nilai tegangan tembus minyak yang rendah dapat menunjukkan adanya kontaminasi, kandungan air, atau penurunan kualitas dielektrik yang berpotensi menyebabkan gangguan saat transformator beroperasi.

Pelaksanaan pengujian transformator perlu mengacu pada standar yang berlaku, baik standar internasional maupun nasional seperti IEC 60076, IEEE, dan standar PLN terkait transformator distribusi. Standar tersebut menjadi pedoman dalam menentukan batas kelayakan hasil pengujian sehingga keputusan pengoperasian transformator dapat dilakukan berdasarkan data teknis yang valid (Purba, 2024). Dengan adanya standar pengujian, risiko kegagalan transformator dapat diminimalkan dan sistem kelistrikan dapat bekerja secara lebih aman serta efisien (Rafiansyah, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu telah melakukan evaluasi kondisi transformator menggunakan berbagai parameter pengujian. Kondisi transformator daya berdasarkan pengujian indeks polarisasi, tangen delta, dan breakdown voltage untuk menilai kualitas sistem isolasi (Mulyanto, 2022). Perubahan nilai tahanan isolasi dan tegangan tembus minyak transformator sebelum dan sesudah proses purifikasi (Purba, 2024). Performa transformator distribusi melalui pengujian rasio lilitan dan tahanan isolasi untuk menentukan tingkat kelayakan operasi (Siregar, 2021). Hasil penelitian tersebut

menunjukkan bahwa pengujian parameter kelistrikan dan dielektrik memiliki peran penting dalam mendeteksi potensi gangguan serta memastikan keandalan transformator sebelum dioperasikan.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada analisis satu atau dua parameter pengujian secara terpisah, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi transformator sebelum proses energizing. Penelitian yang ada membandingkan hasil pengujian terhadap standar yang berlaku tanpa membahas implikasi teknis hasil pengujian terhadap keandalan operasi transformator dalam jangka panjang. Penelitian mengenai integrasi hasil Turns Ratio Test (TTR), Insulation Resistance Test (Megger), dan Breakdown Voltage Test (BDV) sebagai dasar evaluasi kesiapan operasi transformator distribusi di lingkungan industri juga masih relatif terbatas.

Berdasarkan kondisi tersebut, terdapat research gap berupa masih terbatasnya kajian yang mengintegrasikan tiga parameter pengujian utama, yaitu TTR, Megger, dan BDV, dalam satu analisis untuk mengevaluasi kelayakan operasi transformator sebelum dialiri tegangan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis hasil pengujian awal transformator *step-down* 20 kV/400 V berkapasitas 1000 kVA di PT Batamindo Investment Cakrawala sebelum proses energizing. Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada pendekatan evaluasi komprehensif yang mengintegrasikan hasil pengujian rasio lilitan, tahanan isolasi, dan tegangan tembus minyak serta mengaitkan dengan implikasi teknis terhadap kesiapan operasi dan keandalan transformator distribusi pada lingkungan industri.

Analisis terhadap hasil pengujian awal transformator menjadi hal yang perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi teknis peralatan. Evaluasi terhadap parameter pengujian dapat memberikan gambaran mengenai kualitas transformator dan memastikan bahwa peralatan tersebut mampu bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan (Rahmansyah, 2021). Hal ini juga menjadi langkah preventif untuk menghindari gangguan listrik yang dapat menghambat kegiatan industri. Oleh karena itu, artikel ini membahas mengenai analisis pengujian awal transformator *step-down* 20 kV/400 V sebelum dialiri tegangan pada PT. Batamindo Investment Cakrawala. Analisis dilakukan terhadap hasil pengujian Turns Ratio Test (TTR), Insulation Resistance Test (Megger Test), dan Breakdown Voltage Test (BDV) untuk mengetahui kondisi transformator serta menentukan tingkat kelayakan transformator sebelum digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik industri.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis kondisi teknis transformator *step-down* 20 kV/400 V sebelum dialiri tegangan. Pendekatan kuantitatif digunakan karena

penelitian ini berfokus pada pengumpulan data hasil pengukuran parameter kelistrikan transformator yang kemudian dibandingkan dengan standar teknis yang berlaku. Penelitian ini dilakukan dengan mengamati proses pengujian awal transformator melalui beberapa metode pengujian, yaitu pengujian perbandingan lilitan (Turns Ratio Test), pengujian tahanan isolasi (Insulation Resistance Test), dan pengujian tegangan tembus minyak (Breakdown Voltage Test). Hasil pengujian tersebut digunakan untuk mengetahui tingkat kelayakan transformator sebelum dilakukan proses energize (Ramadhan, 2025).

Penelitian ini dilaksanakan di Departemen Power House PT. Batamindo Investment Cakrawala (PT. BIC) yang berlokasi di kawasan industri Mukakuning, Batam. Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam rangka kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada periode 10 Februari 2025 sampai dengan 10 Juli 2025. Lokasi penelitian dipilih karena Departemen Power House memiliki peran dalam pengelolaan sistem pembangkitan dan distribusi tenaga listrik, termasuk kegiatan inspeksi, pemeliharaan, serta pengujian peralatan listrik seperti transformator. Objek penelitian yang diamati adalah transformator distribusi tiga fasa dengan kapasitas 1000 kVA yang memiliki tegangan sisi primer 20 kV dan sisi sekunder 400 V.

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa metode, yaitu observasi langsung, wawancara, dokumentasi, dan studi literatur. Observasi dilakukan dengan mengikuti secara langsung proses pemeriksaan dan pengujian transformator di lapangan bersama teknisi Departemen Power House. Wawancara dilakukan dengan teknisi dan supervisor terkait untuk memperoleh informasi mengenai prosedur kerja, standar pengujian, serta interpretasi hasil pengukuran. Selain itu, dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data spesifikasi transformator, hasil pengujian, serta dokumen pendukung lainnya. Studi literatur digunakan sebagai dasar teori dengan mengacu pada standar pengujian transformator seperti IEC 60076, IEEE, dan standar PLN terkait.

Prosedur pengujian transformator dilakukan dalam kondisi tanpa tegangan (off-line test) sebelum transformator dihubungkan ke sistem listrik. Tahapan awal dimulai dengan pemeriksaan visual terhadap kondisi fisik transformator, meliputi pengecekan tangki, isolator, terminal, serta kondisi minyak transformator. Setelah itu dilakukan pengujian Turns Ratio Test (TTR) menggunakan alat TTR meter untuk mengetahui kesesuaian rasio lilitan primer dan sekunder. Selanjutnya dilakukan Insulation Resistance Test (Megger Test) untuk mengukur tahanan isolasi antara belitan terhadap tanah maupun antar belitan. Pengujian terakhir adalah Breakdown Voltage Test (BDV) untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan tegangan listrik sebelum mengalami breakdown.

Sebelum dilakukan pengujian kelistrikan, inspeksi visual menunjukkan bahwa kondisi fisik transformator berada dalam keadaan baik. Tidak ditemukan indikasi kebocoran minyak, kerusakan isolator, korosi yang signifikan, maupun tanda-tanda gangguan mekanis lainnya. Namun demikian, pemeriksaan visual saja belum cukup untuk menjamin keandalan operasi transformator. Oleh karena itu, diperlukan pengujian lebih lanjut melalui Turns Ratio Test (TTR), Insulation Resistance Test (Megger), dan Breakdown Voltage Test (BDV) untuk mengevaluasi kondisi belitan, sistem isolasi, serta kualitas minyak transformator secara lebih komprehensif sebelum transformator dioperasikan.



### 3.1 Karakteristik Transformator yang Diuji

### 3.2 Objek Pengujian Transformator *Step-down*

Objek dalam pengujian ini adalah transformator distribusi tipe *step-down* tiga fasa dengan spesifikasi tegangan 20 kV/400 V yang digunakan dalam sistem distribusi tenaga listrik di kawasan industri. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa kondisi transformator, baik secara elektrik maupun mekanis, berada dalam keadaan layak dan aman sebelum dioperasikan.



### Gambar 2. Spesifikasi Transformator

Trafo MEIDEN 1000 kVA ini berfungsi untuk mendistribusikan daya dari 20 kV ke 390/225 V, cocok untuk lingkungan industri seperti Batamindo. Dengan konfigurasi Dyn11 dan sistem ONAN, perangkat ini mampu beroperasi di luar ruangan tanpa bantuan pendingin aktif. Nilai impedansi 4,84% menunjukkan kemampuan redaman arus inrush, sementara tap changer lima posisi memungkinkan

198

pengaturan tegangan primer agar output tetap terjaga sesuai kebutuhan jaringan.

Transformator ini memenuhi IEC 60076, dengan kemampuan menahan tegangan petir hingga 125 kV, serta uji AC sebesar 50 kV (HV) dan 3 kV (LV). Sisi LV mendukung arus hingga 1480 A, menunjukkan kapasitas beban tinggi yang stabil. Desain termal memperbolehkan kenaikan suhu hingga 45°C pada minyak dan 55°C pada belitan, menandakan keandalan dalam pengoperasian jangka panjang. Mengingat usia pakai lebih dari 10 tahun, pemeliharaan rutin meliputi uji isolasi, evaluasi kualitas minyak, dan pemantauan suhu sangat dianjurkan. Transformator ini dinilai sesuai standar, andal, dan mampu beradaptasi dengan kondisi lapangan yang bervariasi (Sari, 2023).

**Tabel 2.** Tegangan dan Level Isolasi

| Parameter        | Nilai                  | Penjelasan                                                                              |
|------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Tegangan HV      | 20.000 V               | Tegangan input sisi primer (tegangan tinggi).                                           |
| Tegangan LV      | 390 / 225 V            | Tegangan output sisi sekunder (tegangan rendah). Biasanya untuk beban distribusi lokal. |
| Level Isolasi HV | LI: 125 kV / AC: 50 kV | Level tahanan petir (Lightning Impulse) dan tegangan uji AC.                            |
| Level Isolasi LV | LI: - / AC: 3 kV       | Tidak diuji petir (karena tegangan rendah), hanya diuji AC 3 kV.                        |

**Tabel 3.** Konfigurasi dan Simbol Koneksi

| Parameter      | Nilai | Penjelasan                                                                 |
|----------------|-------|----------------------------------------------------------------------------|
| Simbol Koneksi | Dyn11 | Artinya: HV delta, LV wye (bintang) dengan netral, sudut fasa 30° lagging. |
| LV             | yn    | Tersambung bintang dengan netral (grounded).                               |

**Tabel 4.** Impedansi dan Masa (Berat)

| Parameter          | Nilai   | Penjelasan                                                         |
|--------------------|---------|--------------------------------------------------------------------|
| Impedansi Tegangan | 4.84%   | Menunjukkan tegangan drop akibat impedansi trafo saat penuh beban. |
| Berat Total        | 4050 kg | Berat total trafo, termasuk oli.                                   |
| Berat Minyak       | 1050 L  | Jumlah oli trafo (biasanya jenis mineral).                         |

### 3.3 Lokasi Dan Kondisi Awal Transformator

Pengujian dilakukan di area *Power House* PT. Batamindo Investment Cakrawala, yang berlokasi di kawasan industri Muka Kuning, Batam. Lokasi

transformator berada di gardu distribusi dengan lingkungan terkontrol, namun diperlukan pengecekan fisik dan pengujian kelistrikan secara menyeluruh.

Pengujian transformator dilakukan di area *Power House* PT. Batamindo Investment Cakrawala yang berlokasi di kawasan industri Muka Kuning. Transformator yang diuji berada di gardu distribusi dengan lingkungan yang relatif terkontrol, namun tetap memerlukan pemeriksaan fisik dan pengujian kelistrikan secara menyeluruh. Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilaksanakan inspeksi visual terhadap kondisi transformator yang meliputi kondisi tangki dan isolator luar yang tidak menunjukkan adanya kebocoran atau keretakan, ketinggian minyak yang berada pada batas normal sesuai indikator, serta warna dan kejernihan minyak yang masih baik berdasarkan pengamatan melalui kaca pengintai. Selain itu, tidak ditemukan indikasi terjadinya flashover pada terminal maupun isolator. Secara umum, kondisi awal transformator dinyatakan baik secara visual, namun pengujian kelistrikan dan dielektrik tetap diperlukan sebagai syarat sebelum pengoperasian (Siregar, 2021).



**Gambar 3.** Spesifikasi Transformator

Pengujian transformator ini dilakukan sebagai bagian dari prosedur standar sebelum proses energize dengan tujuan untuk memastikan kelayakan operasi. Pengujian meliputi penilaian kondisi isolasi antara lilitan dan terhadap tanah menggunakan Megger, pengukuran rasio perbandingan lilitan antara sisi primer dan sekunder menggunakan TTR, serta pengujian kemampuan dielektrik minyak transformator melalui metode *Breakdown Voltage* (BDV). Selain itu, hasil pengujian juga dibandingkan dengan standar yang berlaku seperti SPLN, IEEE, dan IEC untuk menentukan apakah transformator layak dioperasikan. Dengan dilakukannya pengujian ini, risiko kegagalan sistem akibat isolasi yang lemah, penyimpangan rasio lilitan, maupun kualitas minyak yang tidak memenuhi standar dapat diminimalkan.

### 3.4 Prosedur Pengujian

Pengujian terhadap transformator dilakukan dengan metode pengujian tanpa tegangan (*off-line test*), sebelum transformator diberikan tegangan (*energize*). Metode ini bertujuan untuk menilai kondisi komponen internal transformator secara menyeluruh, khususnya sistem isolasi dan rasio lilitan, sehingga dapat dipastikan kelayakan operasionalnya. Pengujian dilakukan secara langsung di lokasi trafo, menggunakan alat ukur standar yang dikalibrasi, dengan prosedur yang mengacu pada standar IEEE Std. 62, IEC 60076, dan SPLN 49-1:1982. Berikut adalah tiga jenis pengujian utama yang dilakukan yaitu pengujian Perbandingan Lilitan (*Turns Ratio Test – TTR*), pengujian Tahanan Isolasi (*Insulation Resistance Test – Megger Test*), dan pengujian Tegangan Tembus Minyak (*Breakdown Voltage – BDV Test*). Pengujian terhadap transformator dilakukan dengan metode pengujian tanpa tegangan (*off-line test*) sebelum transformator diberikan tegangan (*energize*).

### 3.5 Hasil Pengujian dan Analisis

Bagian ini menyajikan hasil pengujian transformator *step-down* 20 kV/400 V yang telah dilakukan di PT. Batamindo Investment Cakrawala. Data hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel dan/atau grafik untuk mempermudah proses interpretasi dan evaluasi. Selanjutnya, hasil pengukuran akan dianalisis dengan membandingkan nilai yang diperoleh terhadap standar yang berlaku, seperti IEC, IEEE, dan SPLN. Analisis ini bertujuan untuk menilai kondisi transformator dari aspek rasio transformasi, kualitas isolasi, serta kemampuan dielektrik minyak, sehingga dapat ditentukan tingkat kelayakan transformator sebelum dioperasikan.



**Gambar 4.** Hasil Pengujian TTR

**Tabel 5.** Hasil Pengujian TTR

| No | Tap (%) | Rasio Nominal | Rasio Aktual (Rata-rata) | Deviasi (%)   | Status |
|----|---------|---------------|--------------------------|---------------|--------|
| 1  | -5.0    | 48.717        | 48.72                    | +0.006%       | Sesuai |
| 2  | -2.5    | 50.000        | 49.998                   | $\pm 0.000\%$ | Sesuai |
| 3  | 0.0     | 51.282        | 51.318                   | +0.070%       | Sesuai |
| 4  | +2.5    | 52.564        | 52.597                   | +0.063%       | Sesuai |
| 5  | +5.0    | 53.846        | 53.876                   | +0.056%       | Sesuai |

Semua hasil pengujian menunjukkan bahwa rasio aktual cukup dekat dengan rasio nominal. Perbedaan (error) berada dalam kisaran  $\pm 0.074\%$ , yang menunjukkan bahwa transformator ini dalam kondisi sangat baik dan sesuai standar toleransi IEC maupun IEEE (umumnya  $\pm 0.5\%$  untuk TTR). Saat tap berubah dari -5%, 0%, +2.5%, +5%, terlihat nilai rasio juga berubah secara proporsional, yang mengindikasikan tap changer bekerja dengan baik.

Pengujian rasio lilitan transformator (TTR) pada posisi tap changer dari -5% hingga +5% menunjukkan deviasi maksimum sebesar  $\pm 0,07\%$ , yang jauh di bawah batas toleransi  $\pm 0,5\%$  menurut IEEE C57.12.90 dan IEC 60076-1. Ini menandakan bahwa perbandingan lilitan HV dan LV masih berada dalam kondisi ideal. Konsistensi nilai rasio antar fasa juga sangat baik, mencerminkan keseimbangan belitan tiga fasa. Respons tap changer yang linier terhadap perubahan posisi menunjukkan fungsionalitas komponen tersebut masih optimal. Dengan tidak ditemukannya anomali seperti short winding, perubahan jumlah lilitan, atau kesalahan koneksi, transformator dinyatakan dalam kondisi baik dan siap beroperasi (Siregar, 2025).



**Gambar 5.** Hasil Pengujian Megger

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Megger

| Titik Uji    | Tegangan Uji | Nilai Resistansi       | Status      |
|--------------|--------------|------------------------|-------------|
| HV to Ground | 5000 V       | > 1000 M $\Omega$      | Sangat Baik |
| LV to Ground | 5000 V       | $\pm$ 400 M $\Omega$   | Baik        |
| HV to LV     | 5000 V       | $\geq$ 1000 M $\Omega$ | Sangat Baik |

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi antara sisi tegangan tinggi (HV) ke tegangan rendah (LV) mencapai  $\geq$  1000 M $\Omega$  pada tegangan uji 5000 V DC, yang mengindikasikan kondisi isolasi sangat baik. Tidak terdeteksi adanya kebocoran arus antara belitan primer dan sekunder, sehingga transformator dinilai aman untuk digunakan dalam sistem tegangan menengah (20 kV). Dengan kondisi tersebut, tidak diperlukan tindakan perbaikan khusus, namun tetap disarankan untuk melakukan pengujian ulang secara berkala sebagai langkah monitoring preventif.

Berdasarkan interpretasi dan evaluasi, nilai tahanan isolasi antara HV–Ground dan HV–LV yang melebihi 1000 M $\Omega$  menunjukkan bahwa sistem isolasi berada dalam kondisi prima tanpa adanya indikasi degradasi maupun kebocoran. Sementara itu, nilai tahanan isolasi antara LV–Ground yang berada pada kisaran 400–500 M $\Omega$  masih tergolong aman dan memenuhi standar yang berlaku seperti IEEE Std 43 dan SPLN D3.014-1:2010. Secara keseluruhan, tidak ditemukan adanya gangguan pada sistem isolasi, sehingga transformator dinyatakan layak untuk dioperasikan, dengan rekomendasi pengujian rutin sebagai bagian dari pemeliharaan prediktif.



**Gambar 6.** Hasil Pengujian BDV

Berdasarkan standar IEC 60156, nilai minimum tegangan tembus minyak isolasi untuk minyak baru umumnya adalah  $\geq$ 30 kV pada jarak elektroda 2,5 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh nilai berada di atas batas minimum tersebut, dengan nilai tertinggi mencapai 56 kV, yang

mengindikasikan kualitas dielektrik minyak dalam kondisi baik. Variasi suhu tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap hasil pengujian, sehingga perbedaan nilai yang terjadi lebih disebabkan oleh karakteristik dielektrik lokal minyak. Rata-rata tegangan tembus yang diperoleh sebesar 40,83 kV, yang jauh melampaui ambang batas minimum standar. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa minyak transformator masih dalam kondisi layak pakai dan tidak mengalami degradasi yang signifikan.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian BDV

| Percobaan Ke- | Tegangan Tembus (kV) | Suhu Minyak (°C) | Kondisi Suhu |
|---------------|----------------------|------------------|--------------|
| 1             | 33                   | 41               | Normal       |
| 2             | 33                   | 43               | Normal       |
| 3             | 33                   | 45               | Normal       |
| 4             | 36                   | 47               | Normal       |
| 5             | 54                   | 50               | Normal       |
| 6             | 56                   | 54               | Normal       |
| Rata-rata     |                      | 40,83            |              |

Hasil pengujian menunjukkan tegangan tembus minyak isolasi berkisar antara 33–56 kV, dengan rata-rata 40,83 kV. Nilai ini melebihi batas minimum 30 kV sesuai standar IEC 60156 dan SPLN 49-1:1982, yang menandakan kualitas minyak masih baik. Namun, lonjakan pada dua pengujian terakhir mengindikasikan potensi ketidakkonsistenan akibat kontaminasi ringan atau elektroda yang kurang bersih (Sismantara, 2021). Disarankan dilakukan filtrasi, degassing, serta pengecekan kondisi elektroda sebelum uji ulang. Suhu uji yang stabil dalam rentang 20–60°C turut mendukung validitas hasil.

Secara statistik sederhana, nilai deviasi hasil pengujian TTR berada pada rentang 0,000–0,070% dengan rata-rata deviasi sebesar 0,039%. Nilai tersebut jauh di bawah batas toleransi  $\pm$ 0,5% yang ditetapkan dalam IEC 60076-1 dan IEEE C57.12.90, sehingga menunjukkan konsistensi rasio transformasi pada seluruh posisi tap changer. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Siregar (2025) yang melaporkan bahwa transformator distribusi dengan deviasi rasio di bawah 0,1% umumnya masih memiliki kondisi belitan yang baik dan tidak memerlukan tindakan korektif. Deviasi yang rendah menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan jumlah lilitan, deformasi mekanis belitan, maupun gangguan koneksi internal yang dapat memengaruhi performa transformator selama operasi.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini memberikan kontribusi berupa evaluasi komprehensif terhadap kondisi transformator distribusi melalui integrasi hasil pengujian *Turns Ratio Test* (TTR), *Insulation Resistance Test* (Megger), dan *Breakdown Voltage Test* (BDV) sebagai dasar penentuan kelayakan operasi sebelum proses energizing. Hasil penelitian

dapat menjadi referensi bagi praktisi maupun pengelola sistem tenaga listrik industri dalam melakukan pengujian awal transformator sebagai upaya meningkatkan keandalan dan keselamatan operasi. Namun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya dilakukan pada satu unit transformator dengan pengujian yang berfokus pada parameter TTR, tahanan isolasi, dan tegangan tembus minyak tanpa melibatkan pengujian diagnostik lanjutan seperti *Dissolved Gas Analysis* (DGA), Polarization Index (PI), maupun Tan Delta. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan berbagai metode diagnostik tersebut serta melibatkan banyak objek transformator dengan kondisi operasi yang berbeda agar diperoleh evaluasi yang lebih komprehensif mengenai keandalan transformator dalam jangka panjang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akhdiyatul, A. (2023). Analisis kegagalan transformator PLTU Sukabangun 2×10 MW melalui pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Breakdown Voltage (BDV). *Electrical Network Systems and Sources*, 1(1), 1–8.
- Ali, M., & Kriska, F. (2024). Analisis dan evaluasi kondisi oli transformator berdasar pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Breakdown Voltage (BDV). *AVITEC (Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls)*, 6(2), 185–196.
- Askan, Z. M. (2025). Evaluasi Kinerja PMT 20 kV Berdasarkan Tahanan Isolasi, Tahanan Kontak dan Uji Vakum. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1).
- Febrina, D. C. (2022). Feasibility test of transformer insulating oil lifetime based on breakdown voltage (BDV) and furan analysis. *Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 7(1), 1177–1184.
- Haldigian Indra, M., Handayani, Y. S., & Priyadi, I. (2022). Pengujian tahanan isolasi pada transformator distribusi 160 kVA di PT PLN (Persero) UP3 Bengkulu. *Jurnal Amplifier: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro dan Komputer*, 12(2), 8–15.
- MEIDEN. (2012). *Nameplate Data of 1000 kVA Transformer*. Singapore: Meiden Singapore Pte. Ltd., in collaboration with Meidensha Japan.
- Mulyanto, B., Situmeang, U., & Halilintar, M. P. (2022). Analisis kondisi tahanan isolasi transformator daya 125 MVA menggunakan indeks polarisasi, tangen delta dan breakdown voltage di PLTU Tenayan Raya 2×110 MW. *Jurnal Teknik Elektro Uniba*, 6(2), 206–211.
- Prasojo, R. A., Priambodho, K. B., Duanaputri, R., & Handani, G. P. C. (2022). Rancang bangun sel uji penuaan termal dipercepat sistem isolasi transformator. *Jurnal Teknik Ilmu dan Aplikasi*, 3(2), 117–121.
- Purba, J. H., & Safriandi, M. S. (2024). Analisis nilai tahanan isolasi dan tegangan tembus pada minyak transformator 150 kV sebelum dan sesudah purifikasi di PT Energi Listrik Batam. *Jurnal Integrasi*, 16(2), 120–128.
- Prima, G. A. A. (2023). Analisa Tahanan Isolasi Pada Transformator Daya 150/30 KV Gardu Induk Padang Luar PT PLN (Persero) Bukittinggi. *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, 6(1), 23–33.
- PT. Batamindo Investment Cakrawala, *Profil Perusahaan dan Departemen Power House* [Dokumen internal]. Mukakuning: PT. BIC, 2023.
- Rahmansyah, R., & Setiawan, D. (2021). Evaluasi pemeliharaan transformator distribusi berdasarkan pengujian kualitas isolasi. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*, 13(1), 35–44.
- Rafiansyah, M. A., & Wisaksono, A. (2022). Analisis uji tahanan isolasi pada power transformator PT. PQR. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 1(11), 2723–2732.
- Ramadhan, A., & Muljono, A. B. (2025). Evaluasi Kinerja Isolasi dan Parameter Listrik Pada Capacitive Voltage Transformer (CVT) Di Bay Tanjung 2 Gardu Induk 150 kV Switching. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1).
- Riyanto, D. (2026). Analisis Kegiatan Pemeliharaan Dua Tahunan Transformator 1 pada Gardu Induk Kenjeran 150 kV terhadap Keandalan Sistem Kelistrikan. *Akiratech*, 3(1), 9–16.
- Robbani, M. F., Nugroho, D., & Gunawan, G. (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), 60–66.
- Sari, D. P., & Nugroho, T. (2023). Evaluasi kualitas minyak isolasi transformator berdasarkan pengujian breakdown voltage dan kadar air. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 12(1), 55–64.
- Siregar, A., & Putra, Y. D. (2021). Analisis performa transformator distribusi berdasarkan pengujian rasio lilitan dan tahanan isolasi. *Jurnal Teknologi Elektro*, 10(2), 101–110.
- Siregar, F. H. M., Sembiring, D. W., Simbolon, B., Hutajulu, O. Y., & Sinaga, D. J. (2025). PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAFODISTRIBUSI 20 kV DI PT. CHAROEN POKPHAND. *Jurnal Ilmiah Penelitian Mahasiswa*, 3(6), 248–256.
- Sismantara, I. M. T., Ariastina, W. G., & Amrita, A. A. N. (2021). Penentuan kondisi transformator berdasarkan kandungan gas terlarut menggunakan metode segitiga Duval. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(1), 107–113.