

PENGUJIAN TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRAF0 PADA BAY TRAF0 1 DI GI 150 kV TANJUNG

Citra Putri Maharani¹, I Made Ari Nrartha^{2*}, Septian Ilham Nugroho³, Arnawan Hasibuan⁴

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram; Jl. Majapahit 62 Mataram

³PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Mataram

⁴Prodi Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh; Jl. Batam, Lhokseumawe

Received: 24 April 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

Gardu Induk 150 kV, IEC 60156-02:1995, IEC 60422:2013, Minyak Trafo, Tegangan Tembus.

Correspondent Email:

nrartha@unram.ac.id

Abstrak. Trafo adalah komponen utama pada sebuah gardu induk (GI). Kegagalan kerja trafo menyebabkan kontinuitas pelayanan listrik terganggu. Salah satu pemeliharaan preventif untuk menghindari kegagalan kerja trafo adalah pengujian tegangan tembus minyak trafo. Pengujian dilakukan secara rutin setahun sekali. Penelitian ini menguji tegangan tembus minyak trafo pada bay trafo 1 di GI 150 kV Tanjung. Pengujian dilakukan dengan prosedur dan metode yang mengacu pada standar IEC 60156-02 tahun 1995 dengan elektroda mushroom dan jarak elektroda 2,5 mm. Sampel minyak dari tangki utama dan dari Tap Changer. Hasil pengujian tegangan tembus rata-rata sebesar 59,4 dan 36 kV/2,5 mm untuk minyak pada tangki utama dan pada Tap Changer. Hasil pengujian tersebut menurut kriteria tegangan tembus untuk minyak trafo mengacu pada standar IEC 60422 tahun 2013 adalah bagus atau masih layak untuk digunakan.

Abstract. The transformer is the main component in a substation (GI). Transformer failure causes continuity of electricity service to be disrupted. One preventive maintenance to avoid transformer failure is testing the breakdown voltage of the transformer oil. Breakdown voltage testing is carried out routinely once a year. This research tested the transformer oil breakdown voltage in transformer bay 1 at the GI of Tanjung 150 kV. Testing was carried out using procedures and methods that refer to the 1995 IEC 60156-02 standard with mushroom electrodes and an electrode distance of 2.5 mm. Oil samples from the main tank and from the Tap Changer. The average breakdown voltage test results were 59.4 and 36 kV/2.5 mm for oil in the main tank and in the Tap Changer. The test results according to the breakdown voltage criteria for transformer oil referring to the 2013 IEC 60422 standard are good or still suitable for use.

1. PENDAHULUAN

Untuk menghindari konsleting antar komponen pada peralatan, peralatan sistem tenaga listrik membutuhkan isolator padat atau cair. Untuk menjamin kualitas isolator, diperlukan withstand test untuk isolator padat [1] dan test sifat fisika dan kimia untuk isolator cair [2] serta test tegangan tembus. Khusus untuk isolator cair, waktu/lama penyimpanan isolator cair seperti minyak trafo dapat mempengaruhi kualitas isolasinya [3]. Kebutuhan bahan isolasi cair dari minyak

mineral pada trafo menjadikan banyak penelitian berupa eksperimen ekstraksi minyak dari biji-bijian seperti minyak biji ketapang yang digunakan sebagai bahan isolasi cair trafo [4].

Trafo adalah komponen penting pada sistem tenaga listrik. Kegagalan operasi pada trafo dapat menyebabkan kontinuitas pelayanan listrik terputus. Trafo dapat digunakan untuk mengatur tegangan terima sehingga dapat menjaga tegangan sisi beban [5]–[7]. Untuk mendapatkan hal tersebut trafo

dilengkapi dengan tap changer. Pada tap changer dan tangki trafo diisi dengan minyak isolasi untuk menghindari konsleting, sehingga trafo dapat beroperasi normal. Untuk menjamin isolasi minyak pada trafo masih layak, perlu dilakukan uji tegangan tembus sesuai dengan rating tegangan trafo dan posisi minyak pada trafo.

Pengujian isolasi cair pada minyak trafo mengacu pada standar IEC secara internasional. Standar pengujian tegangan tembus minyak trafo mengacu pada standar IEC 60156-02 Tahun 1995. Pengujian tegangan tembus untuk minyak trafo banyak dilakukan sebagai *preventive maintenance*, pengujian terutama pada trafo-trafo besar di gardu induk (GI) [8]–[10], pada pelanggan daya listrik besar [11], tegangan tembus minyak trafo berbahan sintetis [12] dan menguji tegangan tembus dengan cara mensimulasikan perubahan suhu pada minyak, adanya partikel kontaminasi pada minyak [13], [14]. Penilaian kelayakan hasil uji mengacu pada standar internasional yaitu IEC 60422 tahun 2013.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui tegangan tembus minyak trafo 30 MVA pada tangki utama dan tap changer di GI 150 kV Tanjung. Standar pengujian mengacu pada standar internasional yaitu IEC 60156-02 Tahun 1995 dan IEC 60422 tahun 2013. Untuk memudahkan penyajian hasil penelitian, artikel diawali dengan pendahuluan, dilanjutkan dengan tinjauan pustaka, metode penelitian, hasil dan pembahasan dan ditutup dengan kesimpulan.

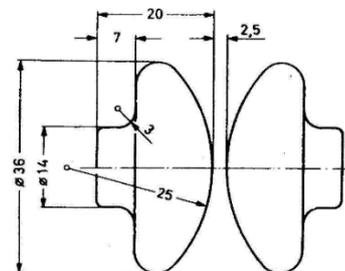
2. TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian tegangan tembus adalah salah satu pengujian *predictive maintenance* yang dilakukan pada minyak trafo. Pengujian ini untuk mengetahui kemampuan isolasi minyak trafo terhadap tegangan yang diberikan. Justifikasi kondisi pada pengujian kualitas/karakteristik minyak trafo di lingkungan PT PLN (Persero) berdasarkan pedoman dari SK Direksi PT. PLN (Persero) No: 0520-1.K/DIR/2014 [15]. Standar yang digunakan sebagai acuan pada pedoman keputusan Direksi PT. PLN (Persero) tersebut adalah IEC 60156-02 Tahun 1995 dan IEC 60422 tahun 2013.

Tegangan tembus pada minyak trafo disebabkan oleh berbagai macam faktor, mulai dari kandungan air dalam minyak trafo, kondisi termal trafo, keberadaan partikel dalam minyak trafo yang berupa debu, pasir, dan sebagainya. Minyak trafo yang sudah dipakai berulang kali dapat menjadikan kondisi *breakdown voltage* minyak menurun.

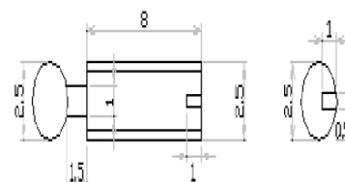
Beberapa metode pengukuran tegangan tembus minyak menurut standar, setiap metode pengujian menggunakan bentuk dan jarak antar elektroda. Salah satu metoda tersebut adalah metode yang mengacu pada standar IEC 60156-02 Tahun 1995.

Pengujian minyak trafo pada tegangan tembusnya menggunakan beberapa elektroda yaitu: elektroda setengah bola, elektroda bola, dan elektroda bidang. Pada elektroda setengah bola dengan diameter 50 mm yang digunakan pada standar IEC 60156-02:1995 untuk pengukuran tegangan tembus isolasi cair. Jarak elektroda pengujian adalah 2; 2,5; dan 3 mm. Tegangan tembus pada isolasi cair dipengaruhi oleh jarak sela antar elektroda. Pengujian tegangan tembus metode setengah bola ditunjukkan pada Gambar 1.



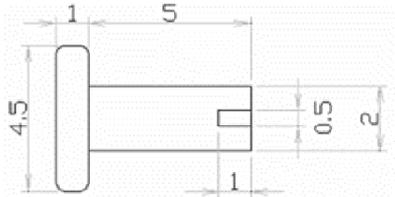
Gambar 1. Metode setengah bola

Pengujian metode elektroda bola mempunyai diameter 25 mm. Elektroda bola sebagai contoh bentuk elektroda seragam dan untuk menganalisis pengaruh jarak sela antar elektroda. Pengujian tegangan tembus metode elektroda bola ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode elektroda bola

Elektroda bidang mempunyai diameter 45 mm untuk uji tegangan tembus minyak trafo. Elektrode ini dipasangkan dengan elektroda bola diameter 20 mm untuk uji pengaruh medan tak seragam. Pengujian tegangan tembus metode elektroda bidang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Metode elektroda bidang

Kriteria tegangan tembus minyak trafo diatur berdasarkan standar IEC 60422 tahun 2013 menurut level tegangan dan posisi minyak pada trafo. Kriteria bagus, sedang dan buruk untuk hasil uji tegangan tembus minyak trafo untuk level tegangan yang berbeda dan tegangan tembus minyak trafo pada tap changer (OLTC) ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Standar tegangan tembus minyak trafo IEC 60422:2013

TEGANGAN	BAGUS	SEDANG	BURUK
>170 kV	>60 kV/2,5 mm	50-60 kV/2,5 mm	<50 kV/2,5 mm
72,5 kV < V ≤ 170 kV	>50 kV/2,5 mm	40-50 kV/2,5 mm	<40 kV/2,5 mm
≤ 72,5 kV	>40 kV/2,5 mm	30-40 kV/2,5 mm	<30 kV/2,5 mm
OLTC	<30 kV/2,5 mm untuk OLTC dengan titik belitan Bintang (BURUK)		

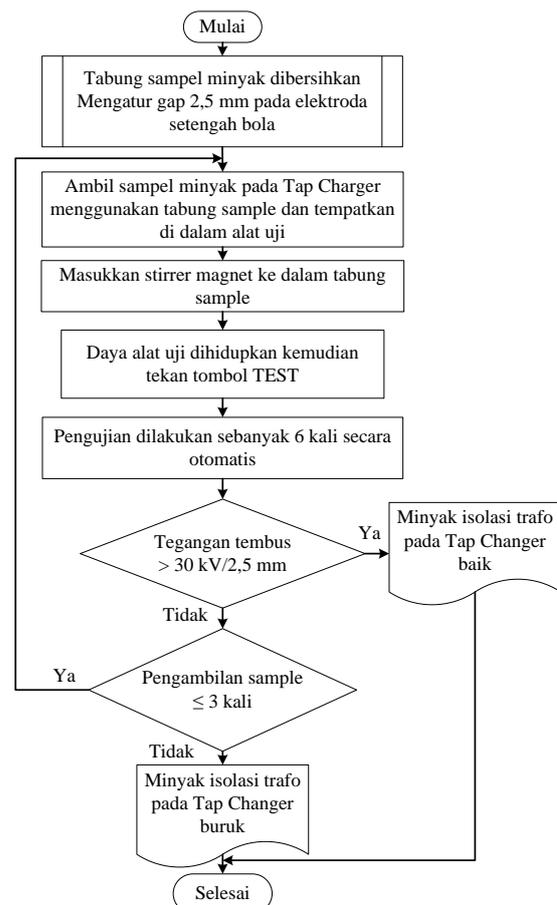
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pengujian minyak trafo yang mengacu pada standar IEC 60156-02 tahun 1995. Metode elektroda mushroom atau setengah bola dengan jarak antar elektroda 2,5 mm. Alat ukur yang digunakan untuk pengujian sehingga sesuai dengan standar IEC tersebut adalah *Breakdown Voltage Test Megger* Seri OTS80PB [16]. Prosedur untuk melakukan pengujian menggunakan alat ukur *Breakdown Voltage*

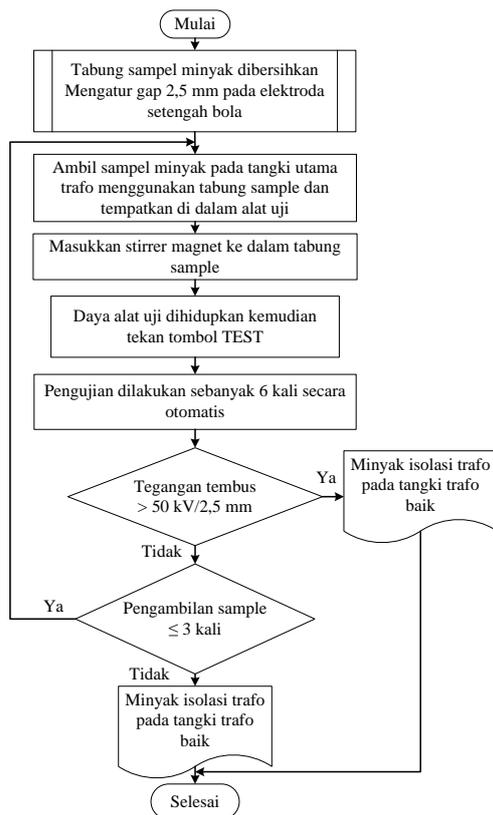
Test Megger ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 untuk pengujian minyak trafo pada *tap changer* dan pada tangki utama. Prosedur untuk dua test tersebut hampir sama, yang membedakan adalah kriteria besar hasil uji tegangan tembus minyak.

Kriteria kelayakan minyak trafo merujuk pada standar IEC 60422 tahun 2013 pada Tabel 1. GI Tanjung adalah GI 150 kV sehingga minyak pada tangki utama masih dinyatakan layak apabila hasil uji tegangan tembus minyak > 50 kV/2,5 mm dan pada tap changer apabila hasil uji tegangan tembus minyak > 30 kV/2,5 mm.

Minyak trafo yang diuji adalah jenis minyak mineral oil. Minyak jenis ini digunakan berdasarkan spesifikasi trafo pada bay trafo 1 di GI 150 kV Tanjung yang ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Prosedur uji pada tap charger



Gambar 5. Prosedur uji pada tangki utama

Tabel 2. Spesifikasi trafo di GI 150 kV Tanjung

Spesifikasi Transformator	Keterangan
Merk	UNINDO
Jenis	Transformator Tenaga
MVA Rating	24/30 MVA
No. Seri	P030LEC739
Tahun Buat	2012
Voltage Rating	150/20 kV
Frekuensi	50 Hz
Phase	3
Koneksi	Ynyn0+d
Standar	IEC 60076
Jumlah Posisi OLTC	18
Temperature Rise	Oil 50°K – Windings 55°K
Pendingin	ONAN/ONAF
Jenis Minyak	Mineral Oil

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian minyak trafo dilakukan secara serial untuk minyak pada tap changer dan pada tangki utama. Pengujian dilakukan sesuai dengan prosedur dari standar IEC 60156-02 tahun 1995 yang dituangkan pada diagram alir prosedur pengujian minyak trafo pada Gambar

1 dan 2 menggunakan alat ukur *Breakdown Voltage Test Megger* Seri OTS80PB.

4.1. Bersihkan Tabung Sampel

Tabung sampel minyak trafo dibersihkan dari kotoran dengan sedikit minyak trafo sampai bersih. Minyak harus dikocok berulang kali pada tabung sampel secara lembut agar tidak memunculkan gelembung udara, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pembersihan tempat sampel minyak

4.2. Pengambilan Sampel Minyak

Pengambilan sampel minyak yang diuji pada bagian tap changer dan tangki utama trafo ke dalam tabung sampel. Kapasitas minyak yang diambil, masing-masing sebanyak 0,5 L. Pengambilan minyak perlahan sehingga tidak memunculkan gelembung udara yang mempengaruhi hasil uji. Pada pengambilan sampel, minyak trafo tidak boleh tersentuh tangan dan terlalu lama terkena udara luar. Pengambilan sampel ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengambilan sampel minyak trafo

4.3. Posisi Tabung pada Alat Uji

Posisikan tabung uji sampel minyak yang sudah terisi ke dalam alat uji. Pastikan tidak ada minyak trafo yang menempel pada luar

permukaan tempat sampel, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Penempatan sampel pada alat uji

4.4. Posisi Stirrer Magnet pada Alat Uji

Posisikan stirrer magnet ke dalam tabung uji sampel minyak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Memasukkan stirrer magnet

4.5. Menutup Cover dan Mulai Uji

Cover alat uji ditutup dengan rapat untuk memastikan alat uji bekerja dengan sempurna. Kemudian alat uji dinyalakan dan proses uji mulai setelah tombol START ditekan. Gambar 10 adalah dokumentasi menyalakan dan mulai proses uji tegangan tembus.



Gambar 10. Memasukkan stirrer magnet

4.6. Proses dan Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan secara otomatis sebanyak enam tahap pengujian dengan total waktu selama 15 menit untuk setiap pengujian. Interval waktu tahap pertama adalah 5 menit, kemudian pada tahap kedua sampai dengan keenam masing-masing dengan interval waktu

2 menit. Hasil pengujian tegangan tembus untuk minyak trafo pada tap changer dan tangki utama dan ditampilkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil uji minyak trafo pada tap changer

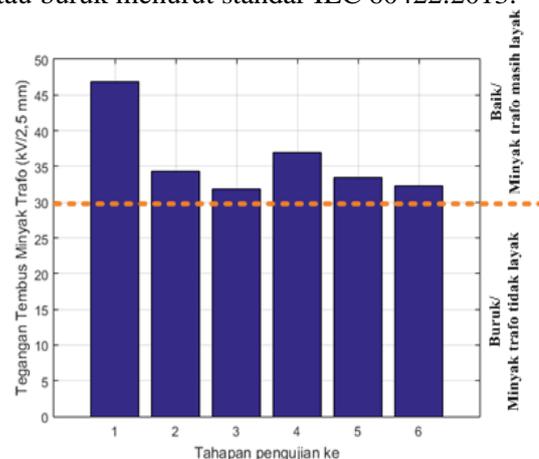
Tahap Pengujian	Interval Waktu	Hasil Pengujian
1	5 menit	46,9 kV/2,5 mm
2	2 menit	34,3 kV/2,5 mm
3	2 menit	31,8 kV/2,5 mm
4	2 menit	36,9 kV/2,5 mm
5	2 menit	33,5 kV/2,5 mm
6	2 menit	32,3 kV/2,5 mm

Tabel 4. Hasil uji minyak trafo pada tangki utama

Tahap Pengujian	Interval Waktu	Hasil Pengujian
1	5 menit	55,7 kV/2,5 mm
2	2 menit	55,1 kV/2,5 mm
3	2 menit	60,1 kV/2,5 mm
4	2 menit	74 kV/2,5 mm
5	2 menit	52,1 kV/2,5 mm
6	2 menit	59,3 kV/2,5 mm

4.7. Analisis Hasil Uji

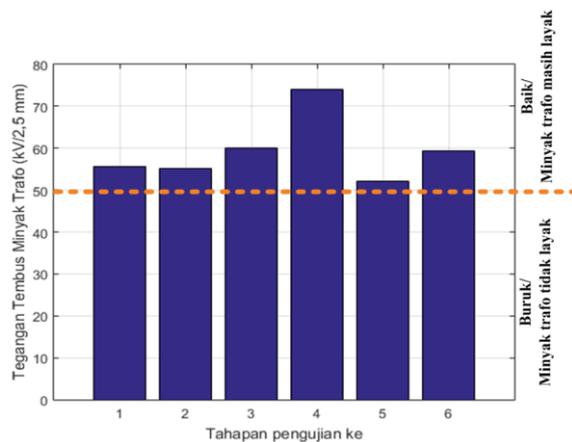
Hasil enam test masing-masing untuk minyak pada tap changer dan tangki utama dibandingkan dengan standar kelayakan minyak trafo IEC 60422 tahun 2013 pada Tabel 1, ditunjukkan pada grafik Gambar 11 dan 12 untuk hasil uji minyak trafo pada tap changer dan tangki utama. Garis orange adalah batas tegangan tembus yang dikategorikan baik atau buruk menurut standar IEC 60422:2013.



Gambar 11. Hasil pengujian minyak tap changer

Grafik pada Gambar 11 menunjukkan semua hasil pengujian minyak trafo tap changer, pengujian ke-1 sampai dengan ke-6 diatas standar tegangan tembus untuk minyak

pada On Load Tap Changer (tap changer) berdasarkan IEC 60422:2013 yaitu harus lebih besar dari 30 kV/2,5 mm. Sehingga hasil uji ini menyatakan minyak trafo pada tap changer dari bay trafo 1 di GI 150 kV Tanjung dikatakan baik/masih layak dan belum perlu diganti. Nilai rata-rata hasil uji tegangan tembus minyak trafo pada tap changer adalah 36 kV/2,5 mm.



Gambar 12. Hasil pengujian minyak tangki utama

Grafik pada Gambar 12 menunjukkan semua hasil pengujian minyak trafo pada tangki utama, pengujian ke-1 sampai dengan ke-6 diatas standar tegangan tembus untuk minyak pada trafo dengan level tegangan 72,5 kV < $V \leq 170$ kV berdasarkan IEC 60422:2013 yaitu harus lebih besar dari 50 kV/2,5 mm. Sehingga hasil uji ini menyatakan minyak trafo pada tangki utama dari bay trafo 1 di GI 150 kV Tanjung dikatakan baik/masih layak dan belum perlu diganti. Nilai rata-rata hasil uji tegangan tembus minyak trafo pada tangki utama adalah 59,4 kV/2,5 mm.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil yang diperoleh dari pengujian tegangan tembus minyak trafo pada Bay Trafo 1 di Gardu Induk 150 kV Tanjung dapat disimpulkan:

- Pengujian minyak pada trafo dilakukan sebanyak 6 tahap yang membutuhkan waktu 15 menit dengan rincian tahap ke-1 5 menit, tahap ke-2 sampai dengan tahap ke-6 masing-masing 2 menit dengan prosedur pengujian yang sesuai dengan standar IEC 60156-02:1995.
- Hasil pengujian minyak trafo pada tap changer adalah 46,9; 34,3; 31,8; 36,9; 33,5 dan 32,3 kV/2,5 mm, dengan nilai rata-rata

sebesar 36 kV/2,5 mm sehingga sesuai dengan standar IEC 60422:2013 untuk tegangan tembus minyak trafo pada tap changer yaitu > 30 kV/2,5 mm.

- Hasil pengujian minyak trafo pada tangki utama adalah 55,7; 55,1; 60,1; 74,0; 52,1 dan 59,3 kV/2,5 mm, dengan nilai rata-rata sebesar 59,4 kV/2,5 mm sehingga sesuai dengan standar IEC 60422:2013 untuk tegangan tembus minyak trafo pada trafo dengan level tegangan $72,5 \text{ kV} < V \leq 170 \text{ kV}$ yaitu > 50 kV/2,5 mm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Transmisi (UPT) Mataram atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk melakukan pengujian langsung di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- T. Taryo, P. N. Utami, and A. Syakur, "ANALISIS FLASHOVER DAN WITHSTAND TEST ISOLATOR SILICONE RUBBER DAN ISOLATOR RESIN EPOKSI SISTEM DISTRIBUSI 20 kV KONDISI KERING DAN BASAH," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i1.2874.
- N. M. Seniari, I. F. Citarsa, and A. Ningsih, "Korelasi Antara Sifat Listrik Dengan Sifat Fisika Dan Sifat Kimia Dari Minyak Transformator," *Dielektrika*, vol. 8, no. 2, pp. 118–125, 2021, [Online]. Available: <http://www.dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/view/280%0Ahttps://www.dielektrika.unram.ac.id/index.php/dielektrika/article/download/280/194>
- N. Wijaya, H. Setiawan, and W. Warindi, "The Effect Of Storage Duration On Transformer Oil Breakdown Voltage," *Dielektrika*, vol. 8, no. 2, pp. 88–94, 2021.
- J. Kamilatin, W. Warindi, and I. M. A. Nrartha, "Uji Kelayakan Minyak Biji Ketapang sebagai Bahan Isolasi Cair Transformator," *Dielektrika*, vol. 8, no. 1, p. 21, 2021, doi: 10.29303/dielektrika.v8i1.260.
- A. S. Sampeallo, W. F. Galla, D. Moses, and K. Jala, "Analisis Pengaturan Posisi Tap on Load Tap Changer Pada Transformator Daya 30 Mva 70/20 Kv Di Gi Maulafa," *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 2, pp. 119–126, 2018, doi: 10.35508/jme.v0i0.1886.
- R. N. Sumarno, L. Muntasiroh, and D. Mariani, "Pengaruh Setting Tap Transformator

- Terhadap Profil Tegangan Pada Jaringan IEEE 14 Bus,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 154–158, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14324.
- [7] N. G. Prasetio, “Pengaturan Tegangan PLTMH 5000 WATT Menggunakan Trafo Dengan Tap Yang Terkontrol Mikrokontroler ATmega 8535,” *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 6, no. 1, 2018, doi: 10.23960/jitet.v1i1.6.
- [8] S. Rahayu, R. A. Diantari, and R. A. Diantari, “Pengujian Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator 60 MVA Di GIS Kebun Jeruk,” *J. Ilm. SUTET*, vol. 9, no. 1, pp. 46–55, 2019, doi: 10.33322/sutet.v9i1.495.
- [9] Pasa Meliansyah and Didik Aribowo, “UJI TEGANGAN TEMBUS MINYAK ON LOAD TAP CHANGER DI GARDU INDUK 150KV RANGKAS BARU,” *Ocean Eng. J. Ilmu Tek. dan Teknol. Marit.*, vol. 1, no. 4 SE-Articles, pp. 1–14, Dec. 2022, doi: 10.58192/ocean.v1i4.182.
- [10] A. Siswanto, A. Rohman, S. Suprijadi, M. Baehaqi, and A. Arifudin, “Analisis Karakteristik Minyak Transformator Menggunakan Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada IBT 1 Gardu Induk,” *Foristek*, vol. 12, no. 1, pp. 30–42, 2022, doi: 10.54757/fs.v12i1.142.
- [11] U. Mudjiono and E. P. Hidayat, “Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Minyak Transformator Fasilitas Gedung Rektorat Universitas Airlangga Surabaya,” *J. Tek. Mesin Univ. Negeri Malang*, vol. 20, no. 2, 2012.
- [12] I. N. Oksa Winanta, A. A. N. Amrita, and W. G. Ariastina, “Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator,” *J. SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 10, 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p02.
- [13] N. Rosyidi and Deki, “Pengujian Tegangan Tembus Pada Minyak Trafo,” *Sinusoida*, vol. XXIII, no. 2, pp. 1–31, 2021, doi: 10.37277/s.v23i2.1117.
- [14] Sugeng Nur Singgih and Hamzah Berahim, “Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC Dan DC Pada Minyak Transformator,” *J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2009, doi: 10.15294/jte.v1i2.1593.
- [15] PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Primer (Trafo Tenaga) No. 0520-2.K/Dir*, no. Oktober. Jakarta: PT PLN (Persero), 2014.
- [16] C. Widyastuti and R. A. Wisnuaji, “Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor,” *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, pp. 75–78, 2019, doi: 10.30630/eji.11.2.128.