

Analisis Kondisi Transformator Berdasarkan Persentase Kandungan Gas Terlarut dan *BreakDown Voltage* Minyak Transformator di PT X

Naurah Amanda Khairunnisah¹, Ni Made Seniari¹, Ida Bagus Fery Citarsa¹

¹Teknik Elektro Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Mataram, Indonesia

ARTICLE INFO

Article history (8 pt):

Received February 28, 2026

Revised February 28, 2026

Accepted February 28, 2026

Keywords (8 pt):

Transformator;

Dissolved Gas Analysis (DGA);

Breakdown Voltage (BDV)

ABSTRACT (10 PT)

Transformator berperan penting dalam sistem tenaga listrik, dan keandalan minyak isolasi perlu dipantau melalui pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)* serta *Breakdown Voltage (BDV)* untuk mencegah gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi transformator 1500 kVA unit 50-TL-EP741 di PT X berdasarkan hasil uji DGA dan BDV. Pengujian DGA menggunakan alat *Transport X* dengan metode *Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)*, *Key Gas*, *Roger's Ratio*, dan Segitiga Duval mengacu pada IEEE C57.104-2019, sedangkan BDV diuji dengan alat *Megger* tipe OTS80AF berdasarkan IEC 60156-2018. Hasil pengujian DGA menunjukkan peningkatan gas etilena (C₂H₄) dan hidrogen (H₂) yang menandakan gangguan termal ringan, sementara nilai BDV 52,7 kV/2,5 mm menunjukkan minyak masih dalam kondisi baik. Kondisi transformator masih layak operasi dengan indikasi degradasi awal sehingga perlu pemantauan berkala.

Transformers play a vital role in electrical power systems, and the reliability of insulating oil must be monitored through Dissolved Gas Analysis (DGA) and Breakdown Voltage (BDV) testing to prevent potential failures. This study aims to determine the condition of a 1500 kVA transformer unit 50-TL-EP741 at PT X based on the results of DGA and BDV tests. The DGA test was conducted using a Transport X device with the Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), Key Gas, Roger's Ratio, and Duval Triangle methods referring to the IEEE C57.104-2019 standard, while the BDV test was carried out using a Megger type OTS80AF device in accordance with the IEC 60156-2018 standard. The DGA results showed an increase in ethylene (C₂H₄) and hydrogen (H₂) gases, indicating minor thermal faults, whereas the BDV value exceeding 52.7 kV/2.5 mm demonstrated that the insulating oil remained in good condition. Overall, the transformer is still in an operable state with early signs of thermal degradation, suggesting the need for regular monitoring to maintain system reliability.

corresponding Author: (9 pt)

Corresponding Author Naurah Amanda Khairunnisah, Teknik Elektro Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62, Mataram, Indonesia

Email: naurahamanda76@gmail.com

1. INTRODUCTION

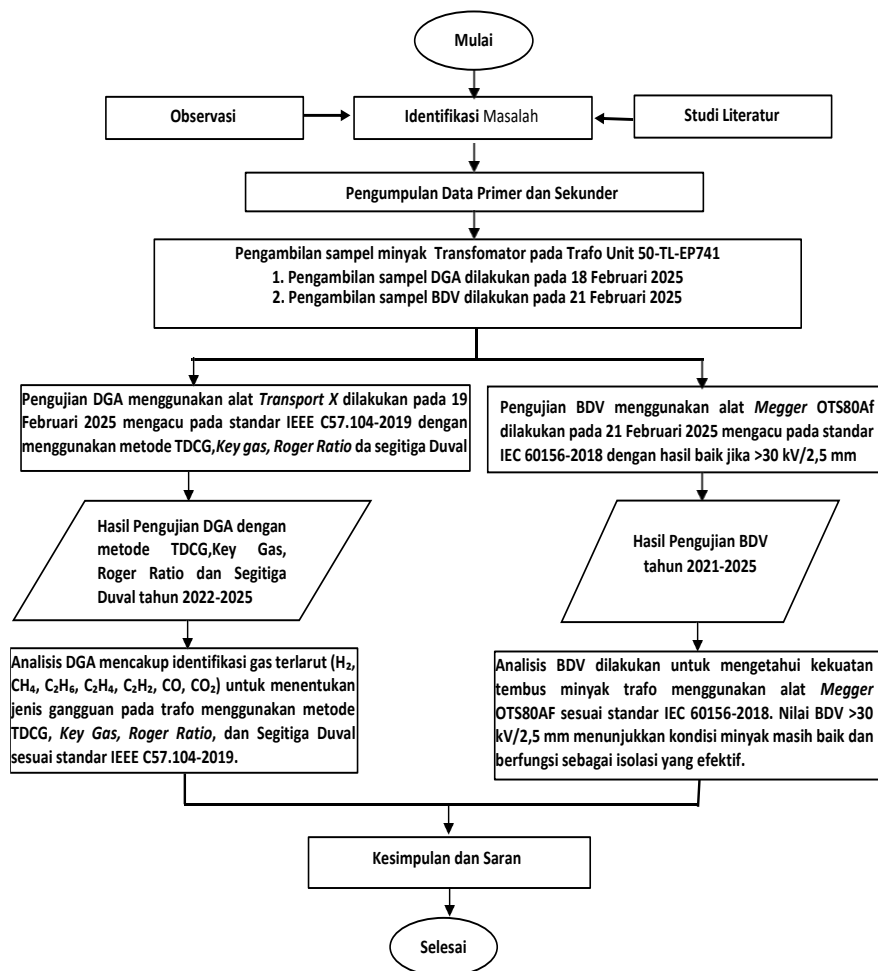
Transformator merupakan salah satu komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik pada tingkat tegangan yang berbeda. Kondisi minyak transformator sangat menentukan keandalan isolasi dan pendinginan peralatan. Selama operasi, minyak transformator dapat mengalami degradasi akibat panas, kelembaban, dan tegangan listrik tinggi yang menyebabkan terbentuknya gas-gas terlarut.

Analisis kandungan gas terlarut *Dissolved Gas Analysis* (DGA) menjadi metode utama untuk mendeteksi dini kerusakan internal pada transformator. Selain itu, pengujian *Breakdown Voltage* (BDV) digunakan untuk mengetahui kemampuan minyak dalam menahan tegangan listrik. Kombinasi kedua metode ini dapat memberikan informasi akurat tentang kondisi kesehatan transformator dan mendukung pelaksanaan pemeliharaan prediktif di PT X.

2. METHOD

2.1 Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kondisi transformator 1500 kVA unit 50-TL-EP741 di PT X menggunakan dua metode utama, yaitu pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dan *Breakdown Voltage* (BDV). Pengujian DGA dilakukan menggunakan alat Transport X dengan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG), *Key Gas*, *Roger's Ratio*, dan *Segitiga Duval* berdasarkan standar IEEE C57.104-2019 untuk mendeteksi jenis dan konsentrasi gas terlarut sebagai indikator gangguan internal transformator. Pengujian BDV menggunakan alat Megger OTS80AF sesuai standar IEC 60156-2018 untuk menilai kemampuan minyak isolasi menahan tegangan tembus. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kondisi termal dan elektrik transformator serta dirumuskan langkah antisipasi guna mencegah kerusakan lebih lanjut.



Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

2.2 Kebutuhan Penelitian

Adapun beberapa alat dan bahan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel berikut

:

Tabel 2.1 Alat dan Bahan yang digunakan

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1	<i>Transport X Portable DGA Analyzer</i>	Alat utama pengujian gas terlarut pada minyak trafo
2	<i>BDV Tester</i>	Alat utama pengujian tegangan tembus pada minyak trafo
3	<i>Syringe 100 cc</i>	Menyimpan minyak untuk pengujian DGA
4	<i>Tygon tubing 1/8"</i>	Selang khusus untuk menyalurkan oli ke <i>syringe</i>
5	<i>Three-way valve</i>	Mengatur aliran oli saat pengambilan untuk DGA
6	<i>Two-way valve</i>	Kontrol aliran utama minyak dari trafo ke <i>syringe</i>
7	<i>Adapter tube</i>	Menghubungkan alat dengan <i>port</i> sampling trafo
8	<i>Container</i>	Penampung oli yang dibuang saat <i>flashing</i> awal
9	Botol 1000 cc	Menampung sampel minyak untuk pengujian BDV
10	<i>Absorben</i>	Membersihkan sisa minyak
11	Sarung Tangan (<i>Chemical</i>)	Melindungi tangan dari minyak trafo
12	Minyak transformator	Sampel pengujian DGA dan BDV

3. DASAR TEORI

3.1. PENGERTIAN TRANSFOMATOR

Transformator adalah perangkat listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik untuk mentransfer energi listrik antar rangkaian melalui perubahan tegangan. Alat ini digunakan untuk menaikkan (*step-up*) atau menurunkan (*step-down*) tegangan sesuai kebutuhan sistem tenaga listrik.

3.2. PRINSIP KERJA TRANSFOMATOR

Transformator bekerja dengan memanfaatkan fluks magnet dari kumparan primer yang menginduksi tegangan pada kumparan sekunder. Efisiensi tinggi dicapai ketika seluruh daya dari sisi primer tertransfer ke sisi sekunder tanpa kehilangan signifikan.

3.3. MINYAK TRANSFOMATOR

Minyak transformator berfungsi ganda sebagai media isolasi listrik dan pendingin. Tersusun dari senyawa hidrokarbon (parafin, naftena, aromatik), minyak ini harus memiliki tegangan tembus tinggi, viskositas rendah, serta stabilitas kimia yang baik agar efektif melindungi komponen internal.

3.4. DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)

DGA merupakan metode diagnosis yang mendeteksi gas-gas hasil degradasi minyak transformator. Analisis ini membantu mengidentifikasi jenis gangguan seperti *partial discharge*, *arcing*, dan *thermal fault* berdasarkan komposisi gas terlarut menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG), *Key Gas*, *Roger's Ratio*, dan Segitiga Duval.

3.5. BREAKDOEN VOLTAGE (BDV)

BDV adalah pengujian untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi menahan tegangan tembus sesuai standar IEC 60156-2018. Nilai BDV yang tinggi menunjukkan kualitas minyak baik, sedangkan penurunan nilai menandakan adanya kontaminasi atau penuaan minyak.

4. RESULT AND DISCUSSION

4.1 HASIL PENGUJIAN DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)

Hasil pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) sebagai berikut:

4.1.1 Metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG)

Tabel dan hasil analisis uji DGA pada minyak transformator unit 50-TL-EP741 menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) yang tertera pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) Minyak Transformator Unit 50-TL-EP741

Gas	Nilai (ppm)				IEEE C57.104-2019 (ppm)			
	2022	2023	2024	2025	1 (Normal)	2 (Buruk)	3 (Sangat Buruk)	4 (Bahaya)
H ₂	< 2	4	12	< 5	100	101-700	701-1800	>1800
CH ₄	143	144	140	13	120	121-400	401-100	>1000
CO	316	319	298	255	350	351-570	570-1400	>1400
CO ₂	4966	4912	4428	3957	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
C ₂ H ₄	< 8	< 8	16	15	50	51-100	101-200	>200
C ₂ H ₆	137	144	79	48	65	66-100	101-150	>150
C ₂ H ₂	< 0.24	< 0.24	0	0	1	2-9	10-35	>35
TDCG	5572,2	5531,2	545	336	720	721-1920	1921-4630	>4630

Pengujian gas terlarut menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) berfungsi untuk menilai kondisi internal transformator berdasarkan jenis gas yang terbentuk. Gas hidrogen menunjukkan pelepasan listrik, metana dan etana menandakan degradasi minyak, etilena mengindikasikan pemanasan berat, asetilena menandakan adanya busur listrik, sedangkan karbon monoksida dan dioksida menunjukkan kerusakan isolasi kertas.

Hasil pengujian tahun 2022–2025 menunjukkan nilai TDCG berada dalam kondisi normal menurut standar IEEE C57.104-2019. Terjadi penurunan kadar sebagian besar gas, menandakan kondisi minyak dan isolasi transformator tetap aman, meskipun sempat terjadi indikasi degradasi ringan pada 2022–2024 yang kemudian membaik pada 2025.

4.1.2 METODE KEY GAS

Secara kualitatif, gas yang terbentuk dalam minyak transformator dapat dianalisis dengan tujuan menentukan jenis kegagalan minyak transformator yang terjadi. Persentase *fault gas* terlarut dalam minyak transformator unit 50-TL-EP741 ditunjukkan oleh tabel 4. 2

Contoh perhitungan untuk menentukan nilai persentase masing-masing gas terlarut berdasarkan metode *Key Gas*. Sebagai contoh pada tahun 2022 menunjukkan kandungan gas sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Konsentrasi Gas Terlarut Minyak Transformator Tahun 2022

No	Jenis Gas	Konsentrasi (ppm)
1	Hidrogen (H ₂)	0
2	Metana (CH ₄)	24
3	Karbon Monoksida (CO)	52
4	Etilena (C ₂ H ₄)	1
5	Etana (C ₂ H ₆)	23
6	Asetilena (C ₂ H ₂)	0

Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) dihitung dengan menjumlahkan seluruh kandungan gas:

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2$$

$$TDCG = 0 + 24 + 52 + 1 + 23 + 0 = 100 \text{ ppm}$$

Analisis Kondisi Transformator Berdasarkan Persentase Kandungan Gas Terlarut dan *BreakDown Voltage* Minyak Transformator di PT X

Persentase masing-masing gas terhadap TDCG dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{persentase gas} : \frac{\text{Gas terlarut (ppm)}}{\text{TDCG (ppm)}} \times 100\%$$

$$\text{persentase gas} : \frac{\text{CH}_4}{\text{TDCG (ppm)}} \times 100\%$$

$$\text{persentase gas} : \frac{24}{100 \text{ ppm}} \times 100\% = 24\%$$

Hasil perhitungan persentase masing-masing gas terlarut berdasarkan metode *Key Gas* disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Hasil Metode *Key Gas* Minyak Transformator Unit 50-TL-EP741

Gas	Persentase (%)			
	2022	2023	2024	2025
Hidrogen (H ₂)	0	1	1	1
Metana (CH ₄)	24	23	17	4
Karbon monoksida (CO)	52	52	63	76
Etilen (C ₂ H ₄)	1	1	3	5
Etana (C ₂ H ₆)	23	23	17	14
Asetilen (C ₂ H ₂)	0	0	0	0

Tabel 4.3 menunjukkan persentase gas terlarut dalam minyak transformator unit 50-TL-EP741 dari tahun 2022 sampai 2025. Gas CO₂ tidak tercantum dalam tabel dikarenakan sifat gas CO₂ yang bukan merupakan *combustible gas* (gas yang tidak mudah terbakar).

Analisis *Key Gas* menunjukkan bahwa pada tahun 2022 kadar CO sebesar 52%, CH₄ 24%, dan C₂H₆ 23% mengindikasikan *overheating* minyak. Tahun 2023 nilainya hampir sama dengan tambahan H₂ sebesar 1%. Tahun 2024 CO meningkat menjadi 63%, CH₄ dan C₂H₆ turun ke 17%, serta C₂H₄ naik ke 3% menandakan degradasi selulosa akibat panas tinggi. Tahun 2025 CO naik menjadi 76%, CH₄ turun ke 4%, C₂H₆ menjadi 14%, dan C₂H₄ naik ke 5%, menunjukkan aktivitas termal menurun namun isolasi kertas mulai terdegradasi.

4.1.3 Metode *Roger's Ratio*

Metode *Roger's Ratio* menggunakan rasio R1, R2, dan R5 untuk menganalisis indikasi penyebab kegagalan pada transformator. Hasil analisis *Roger's Ratio* untuk unit transformator 50-TL-EP741 ditampilkan pada Tabel 4. 4 berikut.

Tabel 4. 4 Hasil Analisis Metode *Roger's Ratio* Minyak Transformator Unit 50-TL-EP741

	<i>Roger's Ratio</i> (ppm)			
	2022	2023	2024	2025
R1	36	11,67	9,30	4,24
R2	0,029	0	0	-0,05
R5	0,049	0,057	0.26	0,32

Tabel 4.4 menunjukkan hasil analisis *roger's ratio* tahun 2022, 2023, 2024 dan 2025. Membandingkan hasil tersebut terhadap tabel interpretasi metode *roger's ratio*, diperoleh bahwa pada tahun 2025 nilai rasio R1 > 1, R2 < 0,1, dan R5 < 1. Berdasarkan standar IEEE C57.104-2019, hasil tersebut tidak secara langsung masuk ke dalam salah satu kategori kondisi, namun nilai R1 dan R2 menunjukkan kecenderungan menuju kondisi 4 dan 5 yang mengindikasikan adanya kegagalan termal (<700 °C atau >700 °C) pada minyak transformator.

4.1.4 Metode Segitiga Duval

Segitiga duval membagi gangguan menjadi 6 zona. Metode ini, gas yang dijadikan perhitungan adalah metana (CH_4), etilen (C_2H_4), asetilen (C_2H_2). Segitiga duval, total persentase dari ketiga gas ini adalah 100 %, sehingga nantinya akan didapatkan persentase dari masing-masing gas dengan cara membagi kandungan gas yang ingin dicari dengan jumlah ketiga gas. Kemudian hasil dari perhitungan persentase ini akan diletakkan pada tiap-tiap sisi segitiga. Ditarik garis lurus dan akan ada titik temu dari ketiga garis tersebut. Lokasi titik temu tersebut menjadi hasil dari analisis menggunakan metode segitiga duval.

Sebagai contoh pada tahun 2022 menunjukkan kandungan gas sebagai berikut:

$$CH_4 = 97 \text{ ppm}, C_2H_4 = 3 \text{ ppm}, C_2H_2 = 0 \text{ ppm},$$

maka total gas diperoleh sebesar:

$$\text{Total gas} = CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 = 97 + 3 + 0 = 100 \text{ ppm}$$

Selanjutnya, persentase masing-masing gas dihitung menggunakan rumus:

$$CH_4 = \frac{(97)}{100} \times 100 = 97\%$$

$$C_2H_4 = \frac{(3)}{100} \times 100 = 3\%$$

$$C_2H_2 = \frac{(0)}{100} \times 100 = 0\%$$

Hasil perhitungan (CH_4), etilen (C_2H_4), asetilen pada transformator unit 50-sampai 2025 sebagai berikut

Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan

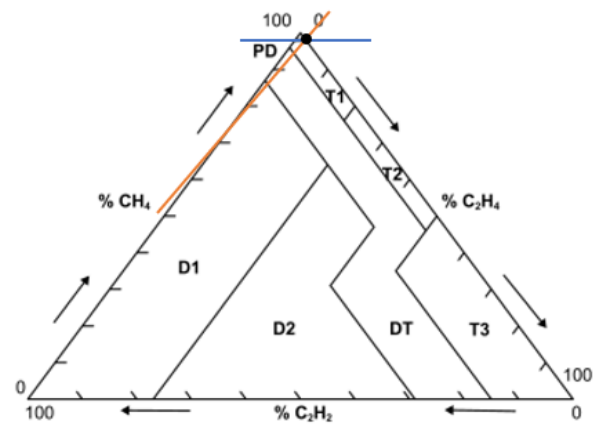
Gas	Persentase (%)			
	2022	2023	2024	2025
Metana (CH_4)	97	97	69	46
Etilen (C_2H_4)	3	3	31	54
Asetilen (C_2H_2)	0	0	0	0

persentase gas metana (C_2H_2) serta segitiga duval TL-EP741 tahun 2022 :

Segitiga Duval.

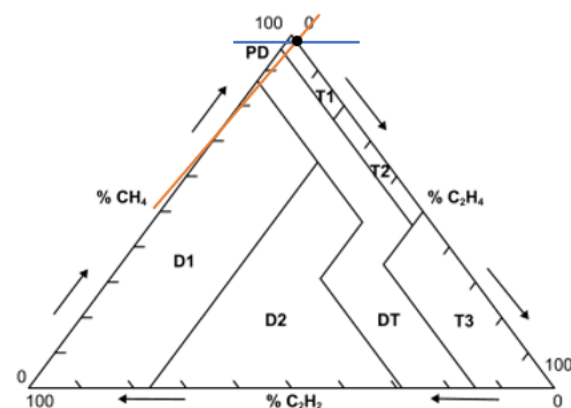
Persentase untuk masing-masing gas maka kita dapat menggunakan segitiga duval untuk menentukan jenis kegagalan minyak transformator. Segitiga duval untuk minyak transformator unit 50-TL-EP741 dari tahun 2022 sampai 2025

a. Tahun 2022



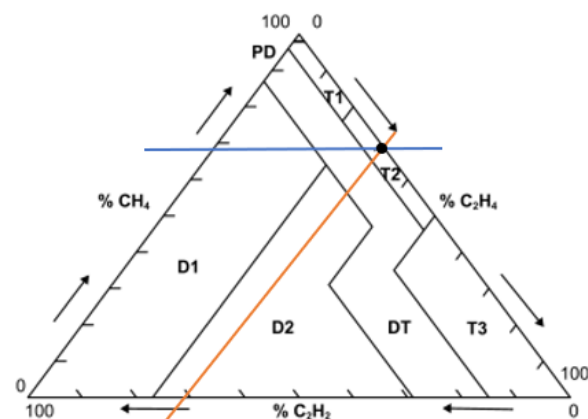
Segitiga duval pada tahun 2022 dengan persentase metana 97 %, etilen 3 %, dan asetilen 0 % menunjukkan lokasi titik temu ketiga garis berada pada zona PD yang mengindikasikan *Partial Discharge*.

b. Tahun 2023



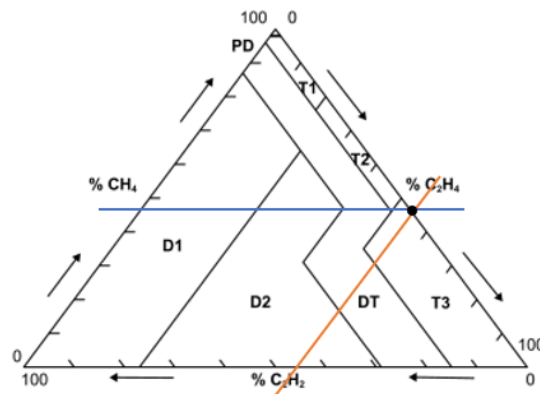
Segitiga duval pada tahun 2023 dengan persentase metana 97 %, etilen 3 %, dan asetilen 0 % menunjukkan lokasi titik temu ketiga garis berada pada zona PD yang mengindikasikan *Partial Discharge*.

c. Tahun 2024



Segitiga duval pada tahun 2024 dengan persentase metana 69 %, etilen 31 %, dan asetilen 0 % menunjukkan lokasi titik temu ketiga garis berada pada zona T2 yang mengindikasikan *thermal fault* pada temperatur $> 700^\circ\text{C}$.

d. Tahun 2025



Segitiga duval pada tahun 2025 dengan persentase metana 46 %, etilen 56 %, dan asetilen 0 % menunjukkan lokasi titik temu ketiga garis berada pada zona T3 yang mengindikasikan *thermal fault* pada temperatur $> 700^{\circ}\text{C}$.

4.2 Hasil Pengujian Breakdown voltage (BDV)

Hasil Pengujian *BreakDown Voltage* (BDV) menggunakan standar IEC 60156. Jenis minyak yang diuji adalah mineral atau *ester* pada suhu 24°C dengan elektroda tipe *mushroom* dan jarak celah 2,5 mm. Pengaduk yang digunakan bersifat magnetik dengan frekuensi pengujian 61,8 Hz dan tegangan maksimum 80 kV serta laju kenaikan tegangan 2,0 kV/s. Hasil terdiri dari enam kali pengujian dengan nilai rata-rata tegangan, penyebaran (*dispersion*) 0,26, dan deviasi standar 13,85 kV. Tabel 4.6 menampilkan hasil uji BDV trafo 1500 kVA Unit 50 TL-EP741 tahun 2025.

Tabel 4.6 Hasil Uji BDV Trafo 1500 kVA Unit 50 TL-EP741 Tahun 2025

Test Ke	BreakDown Voltage (kV)	Kondisi Trafo 3,3 kV (IEC 60156-2018)		
		Bagus	Cukup	Buruk
1	78,3	>30 kV / 2,5 mm	20-30 kV / 2,5 mm	< 20 kV / 2,5 mm
2	43,7			
3	54,4			
4	39,2			
5	53,9			
6	46,9			

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa rata-rata tegangan tembus minyak transformator unit 50 TL-EP741 sebesar 52,7 kV / 2,5 mm. Hasil tersebut, sesuai dengan standar IEC 60156-2018 nilai BDV minyak transformator unit 50 TL-EP741 mengindikasikan bahwa minyak transformator berada dalam kondisi bagus. Hal ini menunjukkan bahwa minyak transformator masih dapat diandalkan fungsinya sebagai isolasi. Tabel 4.7 menampilkan grafik hasil uji BDV unit 50 TL-EP741 tahun 2021 sampai 2025.

Tabel 4. 7 Hasil Uji *BreakDown Voltage* (BDV) Tahun 2021 Sampai 2025

Tahun	Rata-rata BDV (kV)	Kondisi TRafo 3,3 kV (IEC 60156-2018)		
		Bagus	Cukup	Buruk
2021	52	>30 kV / 2,5 mm	20-30 kV / 2,5 mm	< 20 kV / 2,5 mm
2022	74			
2023	76			
2024	63,8			

Tabel 4.7 menunjukkan nilai rata-rata *BreakDown Voltage* (BDV) minyak transformator unit 50 TL-EP741 Tahun 2021 Sampai 2025. Tahun 2021 sampai 2025 rata-rata nilai BDV minyak trafo unit 50 menunjukkan hasil yang fluktuasi dengan rata-rata BDV > 30 kV. Mengacu pada standar IEC 60156-2018 kondisi minyak transformator masih dalam kondisi bagus. Gambar 4. 9 menampilkan grafik hasil uji BDV tahun 2021 sampai 2025.

5. CONCLUSION

Hasil pengujian menunjukkan bahwa gas terlarut pada minyak transformator mengalami peningkatan dari indikasi overheating ringan (2022–2023) menjadi gangguan termal sedang (2024) dan degradasi berat akibat overheating (2025). Nilai BDV 2021–2025 masih di atas standar IEC 60156-2018, dengan penurunan pada 2025 (52,7 kV) yang menandakan penuaan minyak. Langkah antisipasi meliputi uji minyak tiap 5 bulan, pemeriksaan pendingin dan beban operasi, serta purifikasi minyak dan investigasi titik panas untuk mencegah kerusakan lanjut.

REFERENCES

- [1] Afrida, Y., Susilo, L. A., & Fitriyono. (2022). Analisa Kondisi Minyak Trafo Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis pada Trafo Daya #1 di PT PLN (Persero) Gardu Induk Kotabumi. *ELECTRICIAN – Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 16(3). DOI: 10.23960/elc.v16n3.2408
- [2] Akbar, M. F. (2018). Analisa karakteristik minyak isolasi transformator daya 11 kVA menggunakan metode DGA dan breakdown voltage pada gardu kilang Pertamina RU-II Dumai (Skripsi, Universitas Riau).
- [3] Akhdiyatul, A. (2022). 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), 30–36. <https://doi.org/10.58466/entries.v1i1.1118>
- [4] Faishal, M., Kartono, & Sukmadi, T. (2011). Analisis Indikasi Kegagalan Transformator dengan Metode Dissolved Gas Analysis. *TRANSMISI*, 13(3), 95-102. DOI: 10.12777/transmisi.13.3.95-102
- [5] Harianto, R. (2021). Dampak cairan nanodielektrik terhadap minyak dedak padi sebagai alternatif isolasi cair transformator (Tesis, Universitas Hasanuddin, Program Pascasarjana Teknik Elektro).
- [6] Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2019). IEEE Std C57.104™-2019: IEEE guide for the interpretation of gases generated in mineral oil-immersed transformers. New York: IEEE.
- [7] International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 60156:2018 – Insulating liquids: Determination of the breakdown voltage at power frequency – Test method. Geneva: IEC.
- [8] Maharani, C. P., Nrartha, I. M. A., Nugroho, S. I., & Hasibuan, A. (2024). Pengujian Tegangan Tembus Minyak Trafo Pada Bay Trafo 1 di GI 150 kV Tanjung. *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, 12(3). DOI: 10.23960/jitet.v12i3.4347
- [9] Mardiyanto, D. C. (2019). Analisis keadaan minyak isolasi transformator daya menggunakan metode fuzzy logic berdasarkan data dissolved gas analysis (DGA). *Jurnal Teknik Elektro*, 8(2), 411–419. Universitas Negeri Surabaya.
- [10] Nugroho, D. (2010). Kegagalan isolasi minyak trafo. *Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 1–10. Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- [11] Permata, E., & Lestari, I. (2020). MAINTENANCE PREVENTIVE PADA TRANSFORMATOR STEP-DOWN AV05 DENGAN KAPASITAS 150KV DI PT. KRAKATAU DAYA LISTRIK. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan FKIP Universitas Sultan Ageng Tirtayasa*, 3(1), 485–493.
- [12] Pramudya, F., Fauzan, & Subhan. (2021). Studi Proses Purifikasi dan Rekonsiliasi Minyak Transformator dengan Penambahan Senyawa Fenol pada PT. PLN (Persero) UPT Banda Aceh UIP3B Sumatera. *Jurnal TEKTRON*, Vol.05, No.02, September 2021, 183-190. ISSN 2581-2890.
- [13] Puteri, A. (2018). Pengaruh suhu terhadap tegangan tembus minyak trafo jenis mineral [Skripsi, Universitas Negeri Jakarta]. Universitas Negeri Jakarta Repository.
- [14] Setyawan, R. 2017. “Pengujian Dan Pemeliharaan Isolasi Minyak Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp And Paper TBK Perawang.
- [15] Sumawati. (2008). Studi penggunaan minyak kelapa sebagai alternatif isolasi pada trafo daya (Tugas Akhir, Universitas Mataram).
- [16] Syahputra, R., & Arrozak, L. F. (2017). Power transformer loading analysis in order to improve the reliability of a substation. *Journal of Electrical Technology UMY (JET-UMY)*, 1(4), 165-175. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [17] Tondok, Y. P., Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), 83-85. DOI: 10.35793/jtek.v8i2.24895
- [18] Widayuti, C., & Wisnuaji, R. A. (2019). Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor. *Elektron Jurnal Ilmiah*, 11(2), 75–78. DOI: 10.30630/eji.11.2.128