

ANALISIS KONDISI GENERATOR TRANSFORMER GT 1 BERDASARKAN *DISSOLVED GAS ANALYSIS* (DGA) MENGGUNAKAN METODE TDCG DI PLTU BANTEN 3 LONTAR

Apipah^{1*}, Bagus Dwicahyono².

^{1,2} Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang Indonesia.

*email: 2283230033@untirta.ac.id

DOI : 10.48144/suryateknika.v10i1.2393

Received: 22 Februari 2026

Revised: 11 Maret 2026

Accepted: 12 Maret 2026

Abstract

Transformer oil functions as a cooling and insulating medium that is susceptible to degradation due to thermal and electrical stress during operation, so monitoring its condition is important to maintain transformer reliability. This degradation can be detected through Dissolved Gas Analysis (DGA). This study aims to analyze the condition of Generator Transformer (GT) 1 oil at PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar using a descriptive quantitative method based on DGA data from 10 test periods during January 25, 2024 to June 2, 2025. The evaluation was carried out using the Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) method referring to the IEEE C57.104-2008 standard. The results showed that the TDCG value was in the range of 9–435 ppm with an average of 196 ppm so it was included in Condition 1 (<720 ppm) which indicated that the transformer was still operating normally. However, an increasing trend of carbon monoxide (CO) and ethylene (C₂H₄) gas was detected which indicated the potential for early local heating. This research contributes to the use of the TDCG method as a basis for condition monitoring and early detection of disturbances in transformers so that it can support maintenance efforts.

Keywords: Dissolved Gas Analysis (DGA), Transformer Oil, Total Dissolved Combustible Gas (TDCG).

Abstrak

Minyak transformator berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi yang rentan mengalami degradasi akibat tekanan termal dan elektrik selama operasi, sehingga pemantauan kondisinya menjadi penting untuk menjaga keandalan transformator. Degradasi tersebut dapat dideteksi melalui analisis gas terlarut *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi minyak Generator Transformator (GT) 1 di PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar menggunakan metode kuantitatif deskriptif berbasis data DGA dari 10 periode pengujian selama 25 Januari 2024 hingga 2 Juni 2025. Evaluasi dilakukan menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) mengacu pada standar IEEE C57.104-2008. Hasil penelitian menunjukkan nilai TDCG berada pada kisaran 9–435 ppm dengan rata-rata 196 ppm sehingga termasuk dalam Kondisi 1 (<720 ppm) yang mengindikasikan transformator masih beroperasi normal. Namun demikian, terdeteksi tren peningkatan gas karbon monoksida (CO) dan etilena (C₂H₄) yang menunjukkan potensi awal pemanasan lokal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pemanfaatan metode TDCG sebagai dasar pemantauan kondisi dan deteksi dini gangguan pada transformator sehingga dapat mendukung upaya pemeliharaan.

Kata kunci: *Dissolved Gas Analysis (DGA)*, minyak Transformator, *Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)*.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik akan terus meningkat seiring dengan perkembangan zaman, pertumbuhan penduduk, dan meningkatnya aktivitas manusia. Energi listrik kini menjadi bagian yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, tingkat kebutuhan listrik juga menjadi indikator kemajuan suatu wilayah karena

semakin berkembang suatu daerah, maka konsumsi listriknya pun akan semakin tinggi [1].

PT. PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar merupakan salah satu perusahaan penghasil listrik dengan pemasokan listrik yang menggunakan batu bara sebagai bahan pokok utamanya. PLTU ini berlokasi di Desa Lontar, Kecamatan Kemiri, Kabupaten Tangerang. PLTU Banten 3 Lontar mempunyai 4 unit pembangkit dengan kapasitas masing-masing pembangkit sebesar 4×315 MW. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTU Lontar disalurkan melalui jaringan transmisi 150 kV (SUTT) menuju Gardu Induk Teluk Naga dan Gardu Induk New Tangerang. Penyaluran ini berperan penting dalam memperkuat pasokan listrik di wilayah Jakarta, Tangerang, dan sekitarnya. Agar penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju sistem transmisi dapat berjalan secara andal dan kontinu, dibutuhkan peralatan yang bekerja optimal, salah satunya adalah transformator [2].

Pada PLTU Banten 3 Lontar generator transformer merupakan salah satu peralatan penting dalam mendistribusikan jaringan listrik, trafo ini digunakan sebagai trafo step-up tegangan keluaran dari otuput generator, dari level menengah 20 kV ke level tegangan tinggi 150 kV yang kemudian di salurkan ke sistem jaringan transmisi [3]. Untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik, diperlukan pemeliharaan yang tepat. Salah satu pemeliharaan yang dilakukan yaitu pemeliharaan berbasis kondisi (*condition based maintenance/CBM*) yang merupakan pemeliharaan yang dilakukan berdasarkan kondisi aktual peralatan, yang diperoleh melalui proses *condition monitoring*[4]. Pemeliharaan ini bertujuan agar dapat meningkatkan nilai keandalan, memperpanjang usia peralatan, dan juga untuk mengurangi resiko terjadinya kerusakan maupun kegagalan isolasi [5]. Pada generator transformer, salah satu parameter penting yang dipantau dalam *condition monitoring* adalah kondisi minyak isolasi transformator.

Minyak didalam trafo berfungsi tidak hanya sebagai media pendingin tetapi juga sebagai media isolasi. Selama trafo beroperasi, minyak akan menerima beban elektrik dari tegangan serta beban termal yang berasal dari belitan dan inti transformator [6]. Kombinasi beban tersebut dapat menyebabkan terjadinya degradasi minyak dan material isolasi padat (selulosa), yang menghasilkan gas-gas terlarut di dalam minyak. Gas-gas ini menjadi indikator awal adanya gangguan internal pada transformator. Untuk mendeteksi kondisi tersebut dilakukan pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA).

Dissolved Gas Analysis (DGA) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendiagnosis jenis-jenis gangguan yang dapat terjadi pada transformator selama beroperasi [7]. Metode ini menganalisis gas-gas yang terlarut di dalam minyak trafo untuk mengidentifikasi kondisi transformator, khususnya terkait adanya gangguan. Gas-gas tersebut meliputi Metana (CH_4), Etilena (C_2H_4), Asetilena (C_2H_2), Etana (C_2H_6), Karbon Dioksida (CO_2), Karbon Monoksida (CO), Oksigen (O_2), Hidrogen (H_2), dan Nitrogen (N_2) [8]. Hasil pengujian DGA selanjutnya diinterpretasikan menggunakan beberapa metode analisis, salah satunya adalah *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG). Metode TDCG digunakan sebagai tahap awal dalam evaluasi kondisi trafo dengan menjumlahkan konsentrasi gas-gas mudah terbakar yang terlarut di dalam minyak.

Meskipun penelitian mengenai analisis DGA menggunakan metode TDCG telah banyak dilakukan, sebagian besar studi sebelumnya fokus pada transformator distribusi atau transformator daya di gardu induk, serta menggunakan klasifikasi kondisi berdasarkan batas nilai TDCG secara statis [9][10]. Pendekatan tersebut belum secara khusus mengkaji tren kuantitatif perkembangan konsentrasi gas terlarut berdasarkan data pengujian berkala pada generator transformer di pembangkit listrik tegangan

tinggi, sehingga kemampuan prediksi potensi gangguan masih terbatas.[8]. Kesenjangan penelitian ini penting karena gangguan internal pada generator transformer dapat menimbulkan risiko outage sistem transmisi, biaya downtime tinggi, dan kerugian operasional signifikan, sehingga pemantauan berkala dengan analisis tren menjadi krusial untuk meningkatkan keandalan operasi [11].

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi minyak Generator Transformer Unit 1 berdasarkan data DGA periode Januari 2024 hingga Juni 2025 menggunakan metode TDCG sesuai standar IEEE C57.104-2008. Analisis dalam penelitian ini tidak hanya mengklasifikasikan tingkat kondisi transformator berdasarkan nilai TDCG, tetapi juga mengevaluasi tren perkembangan konsentrasi gas terlarut sebagai indikator awal potensi gangguan. Hasil penelitian diharapkan memberikan gambaran kondisi transformator secara lebih komprehensif serta menjadi dasar penerapan strategi *condition based maintenance* untuk meningkatkan keandalan operasi sistem tenaga listrik.

2. Literatur Review

2.1 Minyak Transformator

Transformator (trafo) merupakan peralatan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dengan mengubah tegangannya baik tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya, tanpa mengubah nilai frekuensinya [6] [12]. Minyak trafo merupakan minyak mineral yang diperoleh dari hasil penyulingan minyak mentah. Pada trafo, minyak berfungsi sebagai media isolasi listrik, media pendingin, serta pelindung belitan dari proses oksidasi. Sebagai bahan isolasi, minyak trafo harus memiliki tegangan tembus yang tinggi karena nantinya minyak ini akan mengisi ruang antara kumparan pada lilitan inti besi dan ruang lain di dalam tangki trafo [13]. Trafo tidak memiliki bagian yang berputar, oleh karena itu proses perpindahan panas dilakukan dengan cara inti besi transformator direndam atau terendam dalam minyak [14].

Dalam transformator terdapat material isolasi yang terdiri dari kertas atau selulosa dan minyak. Kedua material ini dapat mengalami degradasi akibat pengaruh suhu (tekanan termal) maupun tegangan listrik [15]. Proses degradasi tersebut akan menghasilkan gas-gas terlarut dalam minyak dengan komposisi yang bervariasi. Gas yang terbentuk tersebut dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu gas mudah terbakar (*combustible gas*) dan gas tidak mudah terbakar (*non-combustible gas*) [9].

Gas yang termasuk *fault gas* atau gas indikasi gangguan terdiri dari Hidrogen (H_2), Metana (CH_4), Etana (C_2H_6), Etilena (C_2H_4), dan Asetilena (C_2H_2). Sementara itu, Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO_2), Oksigen (O_2), dan Nitrogen (N_2) tergolong gas tidak mudah terbakar. Gas-gas tersebut terbentuk akibat pengaruh temperatur tertentu dan kemudian larut di dalam minyak transformator [10].

Pembentukan gas-gas terlarut di dalam minyak transformator terjadi pada temperatur yang berbeda-beda. Gas hidrogen (H_2) dan metana (CH_4) mulai terbentuk dalam jumlah kecil pada sekitar 150 °C. Selanjutnya etana (C_2H_6) terbentuk pada kisaran 250 °C, etilena (C_2H_4) sekitar 350 °C, sedangkan asetilena (C_2H_2) muncul pada temperatur tinggi antara 500–700 °C [16]. Konsentrasi gas-gas tersebut akan berubah seiring peningkatan temperatur operasi. Pada rentang suhu 200–300 °C, produksi CH_4 menjadi lebih dominan dibandingkan H_2 . Ketika temperatur meningkat mendekati 275°C, pembentukan C_2H_6 mulai melebihi CH_4 . Pada temperatur yang lebih tinggi, yaitu sekitar 450–800 °C, produksi H_2 kembali meningkat dan menjadi dominan

dibandingkan gas lain, serta diikuti oleh peningkatan pembentukan C_2H_2 yang signifikan pada sekitar $700\text{ }^\circ\text{C}$ [7].

Variasi komposisi dan dominasi gas tersebut membentuk pola khas (*gas signature*) yang digunakan sebagai dasar dalam metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) untuk mengidentifikasi jenis gangguan internal transformator. Berdasarkan standar IEEE C57.104-2008, jenis gangguan utama diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis Gangguan Transformator Berdasarkan Gas Dominan

Kode	Jenis Gangguan	Gas Dominan
PD	Partial Discharge	H_2
D1	Low Energy Discharge	H_2, CH_4
D2	High Energy Discharge	C_2H_2
T1	Thermal Fault ($T < 300\text{ }^\circ\text{C}$)	CH_4, C_2H_6
T2	Thermal Fault ($300\text{ }^\circ\text{C} < T < 700\text{ }^\circ\text{C}$)	C_2H_4
T3	Thermal Fault ($T > 700\text{ }^\circ\text{C}$)	C_2H_2

2.2 Dissolved Gas Analysis (DGA)

Dissolved Gas Analysis (DGA) merupakan salah satu teknik analisis yang digunakan untuk memantau kondisi minyak transformator, dengan cara mengukur gas gas yang dihasilkan akibat degradasi minyak isolasi. DGA merupakan salah satu indikator awal dalam mengidentifikasi kerusakan isolasi dan minyak [17]. Hasil DGA akan memberikan informasi tentang kondisi minyak transformator secara keseluruhan. Dalam melakukan DGA dilakukan dengan mengambil sampel minyak dari transformator, dan kemudian mengekstrak gas terlarut dalam minyak tersebut. Gas yang diekstrak dipisahkan, komponen individualnya kemudian diidentifikasi, dan kuantitasnya dihitung dalam satuan part per million (ppm) [16]. Hasil DGA kemudian dianalisis dengan menggunakan beberapa metode salah satunya menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG). Beberapa penelitian sebelumnya telah memanfaatkan metode *Dissolved Gas Analysis* (DGA) untuk mendiagnosis kondisi transformator dan mengidentifikasi potensi gangguan pada minyak isolasi. Perbandingan beberapa penelitian terkait penggunaan metode DGA pada transformator dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Penelitian Terkait Dissolved Gas Analysis

No	Peneliti	Objek Penelitian	Metode DGA	Hasil
1	Sholehudin et al.	Transformator tenaga	IEC 60599 & IEEE C57.104	DGA mampu mengidentifikasi thermal fault dan discharge
2	Furqaranda	Transformator daya	DGA IEEE C57.104	Digunakan untuk mengetahui degradasi minyak isolasi
3	Fith	Transformator 27 MVA	TDCG	Digunakan untuk menganalisis kegagalan isolasi
4	Rivai et al.	Transformator 150 kV	TDCG dan Key Gas	Menentukan kondisi operasi transformator
5	Haz et al.	Transformator PLTA	TDCG, Rogers Ratio, Duval Triangle	Diagnosa jenis gangguan transformator

2.3 Metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG)

Metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) digunakan untuk menentukan kondisi awal minyak transformator berdasarkan jumlah total gas terlarut yang terdapat pada sampel minyak transformator [18]. Penilaian dilakukan dengan menjumlahkan konsentrasi gas-gas mudah terbakar yang terukur pada hasil pengujian DGA. Batas konsentrasi gas terlarut dinyatakan dalam satuan part per million (ppm) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3 [19].

Tabel 3. Batas konsentrasi gas terlarut (*Dissolved Key Gas*)

Status	Condition 1	Condition 2	Condition 3	Condition 4
H₂	100	101 – 700	701 – 1800	> 1800
CH₄	120	121 – 400	401 – 1000	> 1000
C₂H₂	35	36 – 50	51 – 80	> 80
C₂H₄	50	51 – 100	101 – 200	> 200
C₂H₆	65	66 – 100	101 – 150	> 150
CO	350	351 – 570	571 – 1400	> 1400
CO₂	2500	2500 – 4000	4001 – 10000	> 10000
TDCG	720	721 – 1920	1921 – 4630	> 4630

Klasifikasi kondisi operasi transformator berdasarkan metode TDCG terdiri dari empat kondisi.

1. **Condition 1:** menunjukkan transformator beroperasi normal namun tetap memerlukan pemantauan lanjutan.
2. **Condition 2:** menunjukkan peningkatan gas mudah terbakar di atas batas normal yang mengindikasikan gejala awal gangguan sehingga diperlukan pemantauan lebih intensif.
3. **Condition 3:** menunjukkan telah terjadi dekomposisi isolasi dan kemungkinan gangguan internal sehingga memerlukan tindakan pemeliharaan.
4. **Condition 4 :** menunjukkan kerusakan berat atau dekomposisi luas pada isolasi yang berpotensi menyebabkan kegagalan transformator dan membutuhkan penanganan segera.

Selain TDCG, rasio CO/CO₂ juga digunakan sebagai indikator degradasi selulosa pada isolasi padat. Selulosa yang mengalami pemanasan menghasilkan CO dan CO₂, sehingga rasio CO/CO₂ yang rendah menandakan degradasi cepat, sedangkan rasio yang tinggi menunjukkan kondisi isolasi relatif stabil. Analisis rasio ini melengkapi interpretasi DGA dan memungkinkan deteksi degradasi isolasi lebih dini, sementara standar IEC 60599 merekomendasikan interpretasi rasio gas sebagai indikator keterlibatan isolasi padat. Beberapa metode interpretasi DGA lain juga umum digunakan, seperti Duval Triangle dan Rogers Ratio. Duval Triangle memetakan tiga gas utama (H₂, C₂H₄, C₂H₂) ke dalam segitiga diagnostik untuk mengidentifikasi jenis gangguan internal seperti partial discharge, arcing, atau thermal fault. Rogers Ratio menggunakan perbandingan rasio gas tertentu, misalnya CH₄/H₂ atau C₂H₂/C₂H₄, untuk mengidentifikasi pola gangguan spesifik. Metode-metode ini efektif untuk klasifikasi jenis gangguan, tetapi kurang cocok untuk pemantauan tren akumulasi gas secara periodik. TDCG dipilih dalam penelitian ini karena memberikan indikasi kuantitatif total gas mudah terbakar, mudah dibandingkan antarperiode pengujian,

relevan untuk pemantauan berkala pada transformator tegangan tinggi, dan dapat dikombinasikan dengan rasio gas untuk interpretasi yang lebih komprehensif [20].

3. Metode

3.1 Tahap Penelitian

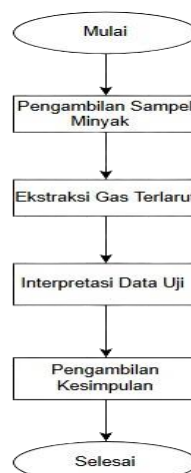
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif. Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa teknik, yaitu observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literatur. Observasi dilaksanakan di PT. PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar pada periode 2 Juni hingga 2 Juli 2025 untuk mengamati secara langsung proses operasi dan pemeliharaan Generator Transformer, termasuk mencatat kondisi internal trafo dan aspek teknis lainnya. Spesifikasi trafo yang diamati ditunjukkan pada Tabel 3. Selanjutnya yaitu wawancara yang dilakukan secara langsung dengan supervisor, pembimbing praktik industri, dan teknisi kelistrikan untuk memperoleh informasi mendalam mengenai strategi dan prosedur pemeliharaan transformator. Selain itu, dokumentasi lapangan, seperti foto, catatan pemeliharaan, dan laporan teknis, dikumpulkan untuk melengkapi hasil wawancara dan observasi. Penelitian ini juga didukung oleh studi literatur dari berbagai sumber, termasuk buku, jurnal ilmiah, dan pedoman teknis, guna memahami fenomena secara komprehensif melalui interaksi langsung dan pengumpulan data yang menyeluruh.

Tabel 4. Data Spesifikasi *Generator Transformer* Unit 1 PLTU Lontar

<i>Generator Transformer</i>	
Parameter	Spesifikasi
Pabrikasi	Luneng Chemming Shandong Power
Tipe	SFPZ-370000 /150TH
Nomor Seri	200906053
Tahun Pembuatan	2009
Jumlah Fasa	3 Fasa
Vector Group	YNd1
Sistem Pendinginan	OFAF (Oil Forced Air Forced)
Kapasitas daya Terpasang	370 MVA
Frekuensi	50 Hz
Tegangan Terpasang	150 / 20 kV
Arus Terukur (HV)	1424,1 A
Arus Terukur (LV)	10681 A

3.2 Alur Proses Pengujian DGA

Dalam melakukan pengujian DGA terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, Alur proses pemeliharaan ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Alur Pelaksanaan DGA

1. Pengambilan sample minyak trafo
 Pengambilan sample minyak dilakukan dengan menggunakan alat berupa syring (suntikan). Fungsi penggunaan syringe agar minyak nantinya tidak terkontaminasi dengan udara luar, dan menghindari hilangnya gas-gas ringan yang mudah lepas
2. Ekstraksi Gas
 Setelah sample minyak trafo diambil selanjutnya adalah mengekstraksi atau memisahkan kandungan gas-gas yang terlarut dalam minyak. Kandungan tersebut meliputi hidrogen (H₂), metana (CH₄), etana (C₂H₆), etilena (C₂H₄), asetilena (C₂H₂), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO₂). Gas yang telah berhasil diekstraksi kemudian diuji untuk mengetahui kadar atau konsentrasi dari masing-masing komponennya dengan menggunakan alat uji DGA yaitu Myrkos Portable DGA MicroGC. Hasil pengujian kemudian di tulis dalam bentuk konsentrasi masing-masing gas yang dinyatakan dalam satuan ppm (part per million).
3. Interpretasi Data Uji
 Setelah pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dilakukan, data konsentrasi gas terlarut diinterpretasikan menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG). Metode ini digunakan sebagai tahap awal dalam mengevaluasi kondisi transformator berdasarkan total akumulasi gas-gas mudah terbakar yang terlarut dalam minyak isolasi. Gas yang termasuk dalam perhitungan TDCG meliputi hidrogen (H₂), metana (CH₄), karbon monoksida (CO), etilena (C₂H₄), etana (C₂H₆), dan asetilena (C₂H₂). Gas karbon dioksida (CO₂) tidak termasuk dalam perhitungan karena tidak bersifat mudah terbakar.
 Perhitungan TDCG dilakukan dengan menjumlahkan konsentrasi masing-masing gas sebagai berikut:

$$TDCG = H_2 + CH_4 + CO + C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2 \dots\dots\dots(1)$$
 Nilai TDCG yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan standar IEEE C57.104-2008 untuk mengklasifikasikan kondisi operasi transformator menjadi empat kategori, yaitu kondisi 1 (normal), kondisi 2 (waspada), kondisi 3 (tidak normal), dan kondisi 4 (kritis). Selanjutnya, data konsentrasi gas hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) dianalisis secara kuantitatif untuk mengetahui tren perubahan gas terlarut dalam minyak transformator. Selain analisis TDCG, penelitian ini juga menggunakan rasio CO/CO₂ untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya degradasi isolasi kertas (selulosa) pada transformator. Rasio tersebut dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Rasio\ CO/CO_2 = CO / CO_2 \dots\dots\dots(2)$$
 Nilai rasio CO/CO₂ kemudian digunakan sebagai indikator tambahan untuk mengevaluasi kondisi isolasi padat transformator berdasarkan gas hasil dekomposisi material selulosa.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil Pengujian DGA

Pengujian DGA pada trafo dilakukan setiap 3 bulan sekali saat kondisi operasi normal. Data hasil pengujian didapat dari tahun 2024-2025 dan digunakan sebagai perbandingan untuk melihat perkembangan kondisi minyak trafo pada beberapa periode. Tujuan pengujian ini adalah mengetahui jenis serta konsentrasi gas terlarut dalam minyak trafo, yang selanjutnya dibandingkan dengan standar IEEE C57.104-2008 dan dianalisis menggunakan metode *Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)* guna menentukan kategori kondisi trafo, apakah normal, perlu pemantauan, menunjukkan gejala kegagalan, atau sudah kritis. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian DGA Trafo GT 1

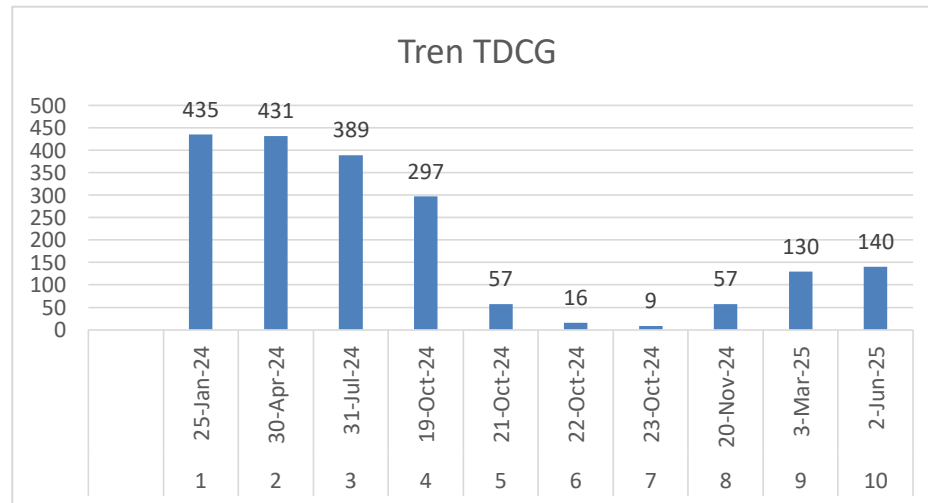
No.	Tanggal Uji	H ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	Co (ppm)	CO ₂ (ppm)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)
1	25-Jan-24	0	7	428	3094	0	0	0
2	30-Apr-24	0	5	426	3400	0	0	0
3	31-Jul-24	0	0	385	3551	0	4	0
4	19-Oct-24	0	5	290	2114	2	0	0
5	21-Oct-24	0	0	52	549	5	0	0
6	22-Oct-24	0	1	12	298	3	0	0
7	23-Oct-24	0	0	9	146	0	0	0
8	20-Nov-24	0	1	53	1206	3	0	0
9	3-Mar-25	0	3	124	1565	3	0	0
10	2-Jun-25	0	3	136	1736	1	0	0

4.2. Hasil Analisis TDCG dan Rasio CO/CO₂ (Standar IEEE C57.104 2008)

Dalam melakukan analisis TDCG langkah yang dilakukan yaitu dengan menjumlahkan beberapa kandungan gas terlarut dalam minyak transformator, gas-gas yang dijumlahkan ini meliputi gas yang mudah terbakar, Sebagai catatan, hanya gas (CO₂) saja yang tidak termasuk kategori dalam TDCG, dikarenakan CO₂ merupakan gas yang tidak mudah terbakar [21]. Selain itu, CO₂ biasanya terbentuk akibat kerusakan panas pada bahan isolasi padat, seperti kertas atau selulosa yang membungkus belitan dalam transformator. Adapun tabel hasil analisis TDCG dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Menggunakan Metode TDCG

No.	Tanggal Uji	H ₂ (ppm)	CH ₄ (ppm)	CO (ppm)	C ₂ H ₄ (ppm)	C ₂ H ₆ (ppm)	C ₂ H ₂ (ppm)	TDCG (ppm)	Status
1	25-Jan-24	0	7	428	0	0	0	435	Kondisi 1
2	30-Apr-24	0	5	426	0	0	0	431	Kondisi 1
3	31-Jul-24	0	0	385	0	4	0	389	Kondisi 1
4	19-Oct-24	0	5	290	2	0	0	297	Kondisi 1
5	21-Oct-24	0	0	52	5	0	0	57	Kondisi 1
6	22-Oct-24	0	1	12	3	0	0	16	Kondisi 1
7	23-Oct-24	0	0	9	0	0	0	9	Kondisi 1
8	20-Nov-24	0	1	53	3	0	0	57	Kondisi 1
9	3-Mar-25	0	3	124	3	0	0	130	Kondisi 1
10	2-Jun-25	0	3	136	1	0	0	140	Kondisi 1

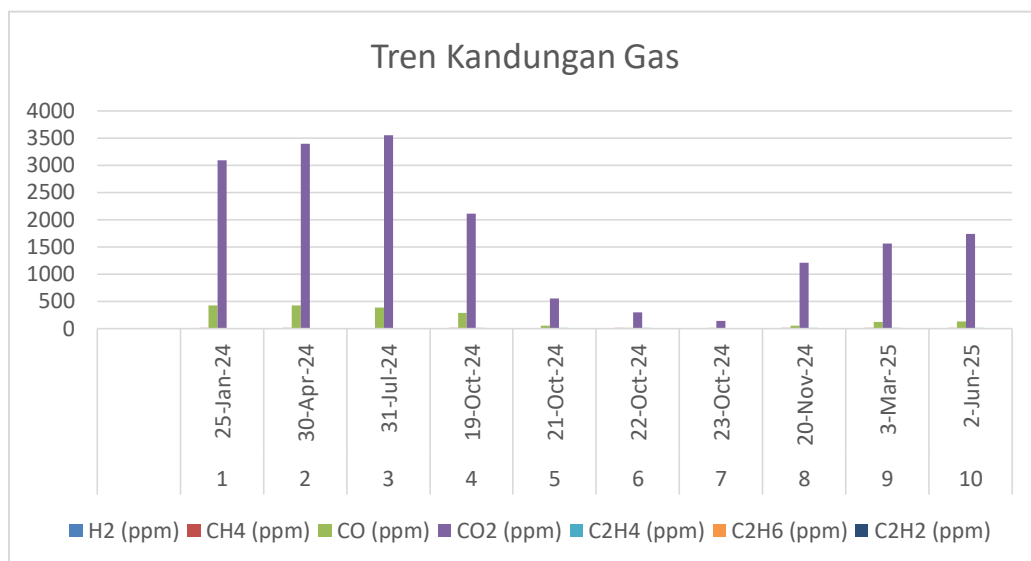


Gambar 2. Tren TDCG

Berdasarkan hasil perhitungan *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG), nilai konsentrasi gas terlarut pada Generator Transformer selama periode Januari 2024 hingga Juni 2025 berada pada rentang 9–435 ppm, dengan nilai rata-rata sebesar 196 ppm. Berdasarkan standar IEEE C57.104-2008, nilai tersebut masih termasuk Condition 1, yaitu kondisi normal dengan batas TDCG < 720 ppm, yang menunjukkan bahwa transformator secara umum masih beroperasi dalam kondisi aman. Pada awal periode pengujian, yaitu 25 Januari hingga 31 Juli 2024, nilai TDCG berada pada kisaran 389–435 ppm. Nilai ini masih berada dalam kategori Condition 1 sehingga belum menunjukkan indikasi gangguan serius pada transformator. Selanjutnya, pada 19 Oktober 2024, nilai TDCG mengalami penurunan menjadi 297 ppm. Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada periode 21–23 Oktober 2024, dimana nilai TDCG tercatat relatif rendah yaitu kurang dari 60 ppm. Kondisi ini menunjukkan bahwa konsentrasi gas mudah terbakar di dalam minyak transformator berada pada tingkat yang sangat rendah. Pada akhir periode pengamatan, yaitu 20 November 2024 hingga 2 Juni 2025, nilai TDCG kembali mengalami kenaikan secara bertahap hingga mencapai 140 ppm. Meskipun terjadi peningkatan, nilai tersebut masih berada dalam kategori Condition 1 menurut standar IEEE C57.104-2008 sehingga transformator tetap dikategorikan dalam kondisi operasi normal. Secara umum, tren TDCG menunjukkan fluktuasi namun masih berada pada tingkat yang aman. Apabila pada pengujian berikutnya nilai TDCG menunjukkan peningkatan yang signifikan, maka interval pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA) perlu dipersingkat untuk mengantisipasi potensi gangguan pada transformator. Selanjutnya, dilakukan analisis rasio CO/CO₂ untuk mengidentifikasi kemungkinan terjadinya degradasi isolasi kertas (selulosa) pada transformator. Rasio CO/CO₂ diperoleh dengan membandingkan konsentrasi gas karbon monoksida (CO) terhadap karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari proses dekomposisi material isolasi. Nilai rasio ini digunakan sebagai indikator tambahan untuk menilai kondisi isolasi padat pada transformator. Adapun hasil perhitungan rasio CO/CO₂ dari data pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Rasio CO/CO₂

No	Tanggal Uji	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	Rasio CO/CO ₂
1	25-Jan-24	428	3094	0,138
2	30-Apr-24	426	3400	0,125
3	31-Jul-24	385	3551	0,108
4	19-Oct-24	290	2114	0,137
5	21-Oct-24	52	549	0,095
6	22-Oct-24	12	298	0,040
7	23-Oct-24	9	146	0,062
8	20-Nov-24	53	1206	0,044
9	3-Mar-25	124	1565	0,079
10	2-Jun-25	136	1736	0,078



Gambar 3. Tren Rasio CO/CO₂

Berdasarkan hasil pengujian, gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang paling dominan dengan nilai mencapai 428 ppm pada awal tahun 2024. Konsentrasi gas CO yang relatif tinggi dapat mengindikasikan adanya pemanasan ringan hingga sedang pada material isolasi berbasis selulosa. Kondisi ini terjadi karena selulosa yang terpapar panas berlebih akan mengalami degradasi termal sehingga menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) di dalam minyak transformator. Temuan ini sejalan dengan penelitian Leonidha dan Marialis (2015) yang menjelaskan bahwa pemanasan berlebih pada selulosa merupakan salah satu penyebab utama meningkatnya kandungan gas CO dan CO₂ pada sistem isolasi transformator [22].

Selanjutnya, pada 19 Oktober 2024 mulai terdeteksi keberadaan gas etilena (C₂H₄) sebesar 2 ppm yang sebelumnya tidak muncul pada sampel awal. Kehadiran gas C₂H₄ ini mengindikasikan adanya gangguan termal pada minyak transformator. Hal ini sejalan dengan penelitian Ward et al. (2021) yang menyatakan bahwa etilena terbentuk akibat suhu *hotspot* di dalam transformator yang melebihi 300°C, sehingga memicu degradasi termal minyak dan menghasilkan gas C₂H₄ [23].

Pada periode 21–23 Oktober 2024, gas C_2H_4 dan CH_4 kembali terdeteksi walaupun dalam jumlah kecil. Keberadaan kedua gas tersebut tetap perlu diperhatikan karena dapat menjadi indikasi awal adanya gangguan ringan pada minyak atau sistem isolasi yang berpotensi berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius apabila tidak dilakukan pemantauan secara berkala. Selama periode pengamatan dari November 2024 hingga Juni 2025, gas hidrogen (H_2) dan asetilena (C_2H_2) tidak terdeteksi. Kedua gas tersebut umumnya menjadi indikator utama gangguan serius seperti *partial discharge* dan *arcing*. Dengan demikian, ketiadaan H_2 dan C_2H_2 menunjukkan bahwa hingga saat ini belum terdapat indikasi gangguan listrik berat pada transformator.

Selain itu, rasio antara gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi isolasi padat pada transformator. Rasio CO/ CO_2 yang relatif rendah umumnya menunjukkan bahwa degradasi isolasi selulosa masih berada pada tahap awal, sedangkan rasio yang tinggi dapat mengindikasikan kerusakan serius pada material isolasi kertas. Berdasarkan data pengujian yang diperoleh, konsentrasi CO masih jauh lebih kecil dibandingkan konsentrasi CO_2 sehingga nilai rasio CO/ CO_2 berada pada rentang 0,040–0,138 dan masih termasuk dalam kategori normal.

al ini menunjukkan bahwa proses degradasi isolasi selulosa pada Generator Transformer (GT) 1 masih berada dalam batas yang wajar. Apabila tren peningkatan konsentrasi gas CO dan C_2H_4 terus berlanjut dalam 2–3 tahun ke depan, maka kondisi tersebut berpotensi menunjukkan peningkatan temperatur *hotspot* pada sistem isolasi transformator. Peningkatan temperatur tersebut dapat mempercepat proses penuaan isolasi kertas dan menurunkan umur pakai transformator. Oleh karena itu, pemantauan Dissolved Gas Analysis (DGA) secara berkala, pengecekan sistem pendingin, serta pemeriksaan kondisi minyak transformator perlu dilakukan secara rutin untuk menjaga keandalan operasi transformator.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis Dissolved Gas Analysis (DGA) menggunakan metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG), kondisi Generator Transformer (GT) 1 pada periode 25 Januari 2024 hingga 2 Juni 2025 berada pada Condition 1 dengan nilai TDCG berkisar 9–435 ppm dan nilai rata-rata 196 ppm, sehingga transformator masih beroperasi dalam kondisi normal sesuai standar IEEE C57.104-2008. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang paling dominan, namun rasio CO/ CO_2 masih berada pada kategori normal sehingga belum menunjukkan indikasi degradasi serius pada isolasi selulosa. Secara teknis, metode TDCG dan rasio CO/ CO_2 dapat digunakan sebagai diagnosis awal untuk memantau kondisi transformator melalui analisis gas terlarut dalam minyak isolasi. Penelitian ini memberikan gambaran tren gas terlarut pada Generator Transformer serta menunjukkan bahwa pemantauan DGA secara berkala penting dilakukan untuk menjaga keandalan operasi transformator.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan penelitian ini. Penelitian ini juga tidak akan dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, arahan, dan bimbingan dari dosen pembimbing serta pembimbing lapangan di PT PLN Indonesia Power UBP Banten 3 Lontar. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua yang selalu memberikan dukungan

moral maupun doa, serta kepada dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dalam proses penyusunan jurnal ini.

Referensi

- [1] M. Anzar Amrullah, H. Haripuddin, and F. Firdaus, "Studi Pemeliharaan Transformator Daya Di Pln Upt Makassar," *J. Media Elektr.*, vol. 20, no. 1, pp. 67–72, 2022, doi: 10.59562/metrik.v20i1.5487.
- [2] F. Anagra, "Audit Energi dan Analisis Peluang Penghematan Konsumsi Energi Listrik di Unit 1 PLTU Banten 3 Lontar," *J. Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 1, p. 32, 2020, doi: 10.22441/jte.2020.v11i1.005.
- [3] D. Aribowo, R. Wiryadinata, and D. Alexander, "Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV," *J. Electr.*, 2014.
- [4] V. Issue, Y. Koerniawan, and A. Wahyu, "JUTIN : Jurnal Teknik Industri Terintegrasi Literature review : Conditional based maintenance in manufacture industry," vol. 7, no. 4, 2024, doi: 10.31004/jutin.v7i4.34377.
- [5] Ahmad Hermawan, Rachmat Sutjipto, Shafira Irmadhani Hidayat, and Florentina Berlian Suryaningtyas, "Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 33–38, 2023, doi: 10.33795/elposys.v7i3.666.
- [6] 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.
- [7] R. P. Budhihadi and B. Sudiarto, "Analysis of Transformer Oil Condition of Dissolved Gas Analysis (DGA) Testing Results with Modified Conventional Methods," *Int. J. Electr. Comput. Biomed. Eng.*, vol. 2, no. 4, pp. 424–437, 2024, doi: 10.62146/ijecbe.v2i4.72.
- [8] S. Shidiq, A. Sujatmiko, and A. H. Paronda, "Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60mva Di Gardu Induk Tambun," *JREC J. Electr. Electron.*, vol. 7, no. 1, pp. 43–52, 2016.
- [9] M. Ansori, "Analisa Kinerja Minyak Trafo Berdasar Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) Dengan Metode Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) Di PLTU MUARA KARANG," pp. 27–34, 2023, doi: 10.31284/j.JREEC.2023.v3i1.
- [10] R. T. Pardede, E. Ezwarsyah, K. Kartika, and A. Asran, "Studi Kondisi Minyak Transformator Daya Berdasarkan Hasil Uji Dissolved Gas Analysis (Dga) Dengan Metode Total Dissolved Combustible Gas (Tdcg) Dan Metode Key Gas Di Pt.Indonesia Power Pltu Pangkalan Susu," *J. Energi Elektr.*, vol. 12, no. 2, p. 13, 2023, doi: 10.29103/jee.v12i2.13519.
- [11] S. Mahankali, R. Velpula, and D. R. K., "Experimental investigation of transformer fault diagnosis using integrated DGA and physical inspection," vol. 254, no. September 2025, 2026.
- [12] R. Sari and I. Irwanto, "Pola Pemeliharaan Transformator Distribusi Step Down Di Pt. Pln (Persero) Ulp Anyer," *Teknika*, vol. 10, no. 1, pp. 44–52, 2025, doi: 10.52561/teknika.v10i1.429.
- [13] Soehardi, "Pemeliharaan Trafo 1 Phasa 50 Kva," *Power Elektron.*, vol. 2, no. 3, p. 159764, 2017.
- [14] S. R. Al-Sakini, G. A. Bilal, A. T. Sadiq, and W. A. K. Al-Maliki, "Dissolved Gas

- Analysis for Fault Prediction in Power Transformers Using Machine Learning Techniques,” *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 1, 2025, doi: 10.3390/app15010118.
- [15] F. Yang, S. Liu, Y. Gui, J. Tao, J. Zhang, and Q. Zhang, “Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects Transition metal (Pt , V , and Ti) doped Janus ZrSSe monolayers as high-sensitivity gas sensors for dissolved transformer fault gases : A first-principles study,” vol. 736, no. January, 2026.
- [16] J. Sun, H. Ma, R. Bing, and Z. Li, “DAWN : Dimension-aware graph contrastive learning for few-shot dissolved gas analysis,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 312, no. August 2025, p. 131504, 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2026.131504.
- [17] A. Kirkbas, A. Demircali, S. Koroglu, and A. Kizilkaya, “Fault diagnosis of oil-immersed power transformers using common vector approach,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 184, no. February, p. 106346, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2020.106346.
- [18] S. Enache, “A Reviewed Turn at of Methods for Determining the Type of Fault in Power Transformers Based on Dissolved Gas Analysis,” 2024.
- [19] S. Bustamante, M. Manana, A. Arroyo, P. Castro, and A. Laso, “Dissolved Gas Analysis Equipment for Online Monitoring of Transformer Oil : A Review,” pp. 4–12, 2019, doi: 10.3390/s19194057.
- [20] M. F. Sholehudin, M. R. Hanif, R. A. Prasajo, M. F. Hakim, S. Nurhadi, and R. Joto, “Case Study and Comparison of High Voltage Power Transformer Dissolved Gas Analysis Assessed by Different Standards,” vol. 01, no. 02, pp. 63–74, 2023.
- [21] H. De Faria, J. G. S. Costa, and J. L. M. Olivas, “A review of monitoring methods for predictive maintenance of electric power transformers based on dissolved gas analysis,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 46, pp. 201–209, 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.02.052.
- [22] M. Celo, R. Bualoti, and L. Londo, “Assessment of Transformer Condition using the Improve Key Gas Methods; Assessment of Transformer Condition using the Improve Key Gas Methods,” *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 4, no. 05, pp. 48–55, 2015, [Online]. Available: www.ijert.org
- [23] S. A. Ward *et al.*, “Towards precise interpretation of oil transformers via novel combined techniques based on DGA and partial discharge sensors,” *Sensors*, vol. 21, no. 6, pp. 1–21, 2021, doi: 10.3390/s21062223.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)