



JREEC

**JOURNAL RENEWABLE ENERGY
ELECTRONICS AND CONTROL**

homepage URL : <https://ejurnal.itats.ac.id/jreec>



Analisa Kinerja Minyak Trafo Berdasar Hasil Uji *Dissolved Gas Analysis* (DGA) Dengan Metode *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) Di PLTU MUARA KARANG

Mahmud Ansori

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)

e-mail: hita@itats.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Jurnal JREEC – Volume03
Nomer 01, Juni 2023

Halaman:
27 – 34
Tanggal Terbit :
06 Juni 2023

DOI:
10.31284/j.JREEC.2023.v3i1
.4510

EMAIL

Email Penulis 1
Email Penulis 2
Email Penulis ... – font 9

PENERBIT

Jurusan Teknik Elektro-
ITATS
Alamat:
Jl. Arief Rachman Hakim
No.100,Surabaya 60117,
Telp/Fax: 031-5997244

*Jurnal JREEC by
Department of Elecrical
Engineering is licensed under
a Creative Commons
Attribution-ShareAlike 4.0
International License.*

ABSTRACT

Transformer is a device used to increase or decrease an AC voltage without any change in power. Not only main transformers are needed, but Auxiliary transformers are very important as well. The method for identifying and analyzing gas dissolved in transformer oil is referred to as the DGA (Dissolved Gas Analysis) method. In this study, it identified the performance of transformer oil (Reverse Auxiliary Transformer 3 & 4 PLTU MUARA KARANG). IEEE std standard. C57 - 104.2008 is used as a benchmark for the analysis of test results from the DGA. The analysis method used Four methods are the Key Gas Method, the Roger Ratio Method and the Dvual triangle Method, and the TDCG (Total Dissolved Combustible Gas) Method . The calculation of the performance index of RAT 3 using the Key Gas Method, which gets a result of 90% : 10%. Then the Roger ratio method is Case 4 which is (Thermal <700 °C). The next method is Dvual triangle transformer oil conditions are at T3, T2 and T1. In the TDCG Analysis method, namely in condition 1, where transformer oil works optimally. Towards RAT 4 the key gas method shows a ratio of 82% : 7%. With Roger ratio conditions namely PD, T1 ,and T3. TDCG method the result of this DGA test is in condition 1, where this condition is a normal operating condition for minyak transformer. That the condition of the transformer oil RAT 3 & 4 is Normal Operation according to its parameters.

Key word : Reverse Auxiliary Transformator 3&4 , Dissolved Gas Analysis , TDCG

ABSTRAK

Trafo adalah alat yang digunakan untuk menambah atau mengurangi tegangan AC tanpa ada perubahan daya. Metode untuk mengidentifikasi dan menganalisis gas yang terlarut dalam minyak transformator disebut sebagai metode DGA (Dissolved Gas Analysis). Pada penelitian ini diidentifikasi kinerja minyak trafo (Reverse Auxiliary Transformer 3 & 4 PLTU MUARA KARANG). Standar STD IEEE. C57 - 104.2008 digunakan sebagai patokan untuk analisis hasil pengujian dari DGA. Metode analisis yang digunakan Empat metode adalah Metode Key Gas, Metode Roger Ratio dan Metode Dvual triangle , dan Metode TDCG (Total Dissolved Combustible Gas). Perhitungan indeks kinerja RAT 3 menggunakan Metode Key Gas, yang mendapatkan hasil 90% : 10%. Maka metode Roger ratio adalah Case 4 yaitu (Thermal <700 °C). Metode selanjutnya adalah kondisi oli transformator segitiga Dvual berada di T3, T2 dan T1. Pada metode TDCG Analysis yaitu pada kondisi 1, dimana oli trafo bekerja secara optimal. Terhadap RAT 4 metode key gas menunjukkan rasio 82% : 7%. Dengan kondisi rasio Roger yaitu PD, T1 ,dan T3. Metode TDCG hasil uji DGA ini berada pada kondisi 1, dimana kondisi ini merupakan kondisi operasi normal untuktrafo minyak. Bahwa kondisi oli trafo RAT 3 & 4 adalah Normal Operation sesuai parameternya.

Kata kunci: Reverse Auxiliary Transformator 3&4, Analisis Gas Terlarut, TDCG

PENDAHULUAN – font 11

Salah satu penyebab utama munculnya kegagalan pada trafo adalah adanya panas yang berlebih, sehingga menimbulkan reaksi berantai yang akan mempercepat penurunan usia dan kualitas kerja sistem isolasi[1][2]. Kertas selulosa dan minyak trafo merupakan pelindung bagian dalam trafo dan untuk mengetahui kerusakan pada trafo dengan menguji jenis proteksi khususnya oli trafo[3]. Karena Oli trafo digunakan untuk menahan tegangan putus dan mengurangi intensitas yang dihasilkan[4], sehingga trafo dapat terlindungi dari impedansi. Karena saat terjadi impedansi akan mengakibatkan penurunan lifetime, sehingga kinerja trafo menjadi tidak maksimal[5]. Untuk itu perlu dilakukan pengujian kandungan gas pada oli trafo (uji Dissolved Gas Analysis), yang bertujuan memeriksa kondisi trafo berdasarkan banyaknya gas yang terdisintegrasi dalam minyak trafo[4][6] dan dampak kenaikan kandungan gas tercampur dalam minyak trafo. Berdasarkan permasalahan yang ada dan hasil uji kualitas dari minyak trafo, maka penelitian membahas tentang Kinerja Minyak Trafo berdasar hasil Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) menggunakan Metode Analisa TDGC (Total Dissolved Combustible Gas) di PLTU Muara Karang, yang bertujuan untuk mengantisipasi ketahanan dari minyak trafo di PLTU Muara Karang terhadap pengaruh gas terlarut (CO , H_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , dan C_2H_2).

TINJAUAN PUSTAKA

Transformator

Merupakan alat elektromagnetik yang sederhana, andal dan efisien untuk mengubah tegangan AC dari satu tingkat ke tingkatan yang lain dan berfungsi untuk menyalurkan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya serta digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan[7].

Mintak Transformator

Merupakan minyak mineral yang diperoleh dengan penyulingan dari minyak mentah, berfungsi sebagai pendingin karena minyak transformator mampu menghantarkan panas dengan baik dan sebagai isolator yang baik agar dapat menjadi pemisah tegangan antara bagian-bagian yang memiliki beda fasa [8] [9], harus mempunyai kriteria: Kejernihan, Massa jenis, Tingkat kekentalan, Titik nyala, Titik tuang, Angka kenetralan, korosi belerang, tegangan tembus, faktor kebocoran dielektrik, Stabilitas (oxydation stability), kandungan air, tahanan jenis, tegangan permukaan, kandungan gas.

Kekuatan Dielektrik

Merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk dapat menahan medan elektrik tanpa berakibat terjadinya tembus listrik pada material isolasi tersebut. Kekuatan dielektrik dipengaruhi oleh material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan, dan sebagainya yang dapat merubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cair kekuatan dielektrik setara dengan tegangan yang terjadi[10]. Seperti pada hukum Paschen, kekuatan dielektrik suatu fluida sekitar 107 V/cm dan dapat menempati volume ruangan yang seharusnya dilindungi dan sekaligus dapat menyebarkan panas yang ditimbulkan oleh konveksi[11].

Pengujian Isolasi Trafo

Penyebab kegagalan isolasi diantaranya partikel padat, uap air dan gelembung gas didalamnya, proteksi yang sudah cukup lama digunakan, penurunan kekuatan dielektrik dan proteksi yang memiliki tegangan lebih[12]. Dengan metode Dissolved Analysis Gas (DGA), Uji karakteristik dielektrik, Furan analisis, BDV, Inspeksi peralatan, Visual inspeksi, Uji factor daya dan riwayat pembebanan dari trafor itu sendiri[13].

Dissolved Gas Analysis (DGA)

Pada saat transformator beroperasi akan menyebabkan minyak trafo mengalami pembebanan yang berupa beban elektrik dan termal[14], kondisi dimana transformator dilihat dari hasil perhitungan jumlah gas terlarut pada minyak trafo. Jumlah gas terlarut yang mudah tersebut akan menunjukkan apakah transformator yang diuji masih dalam kondisi normal, waspada atau kondisi kritis[15]. Ada 4 kriteria tingkatan kondisi untuk mengklasifikasikan kondisi trafo, dari hasil pengujian dilakukan interpretasi data hasil pengujian.

1. Metode Key Gas

Sebagai gas-gas yang terbentuk pada trafo berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada temperature yang menghasilkan indikasi gas tertentu[13].

2. Metode Roger Ratio

Untuk menganalisis indikasi kegagalan menggunakan empat perhitungan gas rasio dari lima jenis gas yang dihitung untuk menentukan tipe kegagalan yang terjadi, Gas-gas yang digunakan adalah C_2H_2/C_2H_4 , CH_2/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 .

3. Metode Dvual Triangle

Memaparkan hasil perhitungan analisis terkait dengan konsentrasi gas yang terlarut yang ditentukan oleh tiga jenis gas CH_4 , C_2H_4 dan C_2H_2 [14] dan digunakan untuk membentuk metode-metode analisis yang lain.

4. Metode TDCG

Ketika terjadi peningkatan dalam kandungan gas terlarut dari minyak trafo yang berhasil beroperasi terjadi dan diduga terjadi gangguan internal, untuk menghitung nilai TDCG dengan menjumlahkan nilai H_2 , CH_4 , C_0 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 dalam satuan ppm[1].

METODE

Penelitian dilakukan di PT.PJB PLTU Muara Karang, yang terkait kinerja minyak transformator pada Transformator RAT (Reverse Auxilary Transformator) 3 dan 4 berdasarkan standar IEEE Std C57.104-2008. Pengujian DGA dilakukan berdasarkan:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Uji Dissolved Gas Analysis RAT 3

a. Metode Key Gas

$$\begin{aligned} \text{Nilai Key Gas total} &= H_2 + CH_4 + C_o + C_2H_2 + C_2H_4 + C_2H_6 \\ &= 0 + 0 + 11 + 0 + 0 + 2 \\ &= 13 \text{ ppm} \end{aligned}$$

$$\text{nilai \% } C_o = \frac{11}{13} \times 100\% = 85\%$$

Tabel 1. Hasil Perbandingan Uji DGA dengan standar IEEE

Tanggal	H ₂ : C ₂ H ₂ (%)	H ₂ : CH ₄ (%)	C ₂ H ₆ : C ₂ H ₄ (%)	CO (%)
27-Apr-18	0% : 0%	0% : 0%	15% : 0%	85%
03-Sep-18	13% : 0%	13% : 8%	19% : 2%	57%
02-Jul-19	16% : 0%	16% : 0%	18% : 2%	63%
30-Jun-20	12% : 0%	12% : 1%	17% : 1%	68%
15-Apr-21	0% : 0%	0% : 0%	90% : 10%	0%
03-Jun-21	10% : 0%	10% : 2%	11% : 3%	75%
31-Dec-21	4% : 0%	4% : 17%	33% : 3%	44%

Berdasarkan tabel 1, nilai hasil uji DGA pada RAT 3 terjadi Overheating of oil yang disebabkan oleh kenaikan dari gas Ethana yang melebihi standar IEEE C57-104.2008 sebesar 90% : 10% yang mendominasi adalah Ethana C₂H₆ mencapai 90%.

b. Metode Roger Ratio

$$\text{Ratio 1 (R}_1) = \frac{CH_4}{H_2} = \frac{0}{11} = 0,64 \text{ Ppm}$$

Tabel 2. Hasil Uji DGA metode Roger Ratio

Tanggal	R1 (CH ₄ /H ₂) (Ppm)	R2 (C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄) (Ppm)	R5 (C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆) (Ppm)
27-Apr-18	∞	∞	0,00
03-Sep-18	0,64	0	0,13
02-Jul-19	0	0	0,13
30-Jun-20	0,11	0	0,08
15-Apr-21	∞	0	0,11
03-Jun-21	0,16	0	0,24
31-Dec-21	4,38	0	0,10

Berdasarkan tabel 2, pada tanggal 31 Desember 2021 hasil R₁ (CH₄/H₂) dengan Thermal <700 °C menunjukkan bahwa minyak transformator bekerja lebih berat dari pada biasanya. Hal ini dikarenakan gas Methana mulai terbentuk lebih banyak dari pada sebelumnya.

c. Metode Dvual Triangle

$$\text{Nilai total Dvual triangle} = CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 = 0 + 0 + 0 = 0 \text{ ppm}$$

$$\text{nilai \% } C_2H_2 = \frac{100x}{\text{Nilai total Dvual's Triangle}} = \frac{0}{9} \times 100\% = 0\%$$

Tabel 3. Hasil Uji DGA metode Dvual Triangle

Tanggal	Nilai total Dvual triangle (Ppm)	C ₂ H ₄ (%)	CH ₄ (%)	C ₂ H ₂ (%)	Kondisi
27-Apr-18	0	0%	∞	∞	Normal
03-Sep-18	9	22%	78%	0%	T2
02-Jul-19	3	100%	0%	0%	T3
30-Jun-20	4	50%	50%	0%	T3
15-Apr-21	7	100%	0%	0%	T3
03-Jun-21	8	63%	38%	0%	T3
31-Dec-21	42	17%	83%	0%	T1

Berdasarkan tabel 3 hasil pengujian DGA pada kondisi T2 terjadi panas berlebih (300 – 700 °C), T3 melebihi >700 °C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa minyak trafo bekerja pada suhu yang tinggi dikisaran > 300°C sampai >700 °C.

d. Metode TDCG

Nilai TDCG = $CO+H_2+CH_4+ C_2H_6+C_2H_4+ C_2H_2 = 11 + 0 + 0 + 2 + 0 + 0 = 13 Ppm$

Tabel 4. Hasil Uji DGA metode TDCG

Tanggal	H_2 (Ppm)	CH_4 (Ppm)	C_2H_6 (Ppm)	C_2H_4 (Ppm)	C_2H_2 (Ppm)	CO (Ppm)	TDCG (Ppm)	Kondisi
27-Apr-18	0	0	2	0	0	11	13	1
03-Sep-18	11	7	16	2	0	47	83	1
02-Jul-19	20	0	23	3	0	79	125	1
30-Jun-20	19	2	26	2	0	106	155	1
15-Apr-21	0	0	63	7	0	0	70	1
03-Jun-21	19	3	21	5	0	141	189	1
31-Dec-21	8	35	68	7	0	91	209	1

Berdasarkan tabel 4 hasil akhir dengan metode TDCG pada kondisi 1, dimana kondisi tersebut menjelaskan bahwa transformator beroperasi pada kondisi normal.

2. Hasil Uji Dissolved Gas Analysis RAT 4

a. Metode Key Gas

Nilai Key Gas total = $H_2+ CH_4 + C_o + C_2H_2 + C_2H_4 + C_2H_6$
 = $10 + 0 + 0 + 0 + 7 + 78$
 = 95 ppm

nilai % $C_o = \frac{0}{95} \times 100\% = 0\%$

Tabel 5. Hasil Perbandingan Uji DGA dengan standar IEEE

Tanggal	$H_2 : C_2H_2$ (%)	$H_2 : CH_4$ (%)	$C_2H_6 : C_2H_4$ (%)	CO (%)
15-Mar-18	11% : 0%	11% : 0%	82% : 7%	0%
03-Sep-18	0% : 0%	0% : 11%	17% : 1%	71%
02-Jul-19	5% : 0%	5% : 10%	16% : 2%	67%
30-Jan-20	0% : 0%	0% : 11%	20% : 0%	70%
30-Jun-20	5% : 0%	5% : 10%	15% : 1%	69%
15-Apr-21	0% : 0%	0% : 0%	88% : 12%	0%
03-Jun-21	4% : 0%	4% : 10%	14% : 0%	72%
03-Dec-21	0% : 0%	0% : 11%	18% : 0%	71%

Berdasarkan tabel 5, nilai hasil uji DGA pada RAT 4 terjadi Overheating of oil yang disebabkan oleh kenaikan dari gas Ethana yang melebihi standar IEEE C57-104.2008 sebesar 90% : 10% yang mendominasi adalah Ethana $C_2H_6 : C_2H_4$ mencapai 90%.

b. Metode Roger Ratio

$$\text{Ratio 1 (R}_1) = \frac{CH_4}{H_2} = \frac{0}{10} = 0 \text{ Ppm}$$

Tabel 6. Hasil Uji DGA metode Roger Ratio

Tanggal	R1 (CH_4/H_2) (Ppm)	R2 (C_2H_2/C_2H_4) (Ppm)	R5 (C_2H_4/C_2H_6) (Ppm)
15-Mar-18	0	0	0,09
03-Sep-18	∞	0	0,07
02-Jul-19	2	0	0,11
30-Jan-20	∞	∞	0
30-Jun-20	1,95	0	0,08
15-Apr-21	∞	0	0,13
03-Jun-21	2,33	0	0,03
03-Dec-21	∞	∞	0

Berdasarkan tabel 6, pada tanggal 31 Desember 2021 hasil R_1 (CH_4/H_2) berada pada Case 3 (temperature panas yang rendah), Kondisi ini juga dapat menyebabkan Gas Methana mulai terbentuk lebih banyak dari pada sebelumnya.

c. Metode Dvual triangle

$$\text{Mencari nilai Dvual's Triangle total} = CH_4 + C_2H_4 + C_2H_2 = 0 + 7 + 0 = 7 \text{ Ppm}$$

$$\text{Mencari nilai } \% C_2H_2 = \frac{100x}{\text{Nilai total Dvual's Triangle}} = \frac{0}{7} \times 100\% = 0\%$$

Tabel 7. Hasil Uji DGA metode Dvual triangle

Tanggal	Nilai total Dvual triangle (Ppm)	C_2H_4 (%)	CH_4 (%)	C_2H_2 (%)	Kondisi
15-Mar-18	7	100%	0%	0%	T3
03-Sep-18	49	10%	90%	0%	T1
02-Jul-19	47	15%	85%	0%	T1
30-Jan-20	6	0%	100%	0%	PD
30-Jun-20	48	10%	90%	0%	T1
15-Apr-21	2	100%	0%	0%	T3
03-Jun-21	44	5%	95%	0%	T1
03-Dec-21	9	0%	100%	0%	PD

Berdasarkan tabel 7 hasil pengujian DGA pada kondisi PD menunjukkan bahwa terjadi pelepasan energi yang menyebabkan terjadinya lonjakan bunga api (arching). Kondisi T2 terjadi panas berlebih (300 – 700 °C), T3 melebihi >700 °C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa minyak trafo bekerja pada suhu yang tinggi dikisaran > 300°C sampai >700 °C.

d. Metode TDCG

$$\text{Nilai TDCG} = CO + H_2 + CH_4 + C_2H_6 + C_2H_4 + C_2H_2 = 0 + 10 + 0 + 78 + 7 + 0 = 95 \text{ Ppm}$$

Tabel 8. Hasil Uji DGA metode TDCG

Tanggal	H ₂ (Ppm)	CH ₄ (Ppm)	C ₂ H ₆ (Ppm)	C ₂ H ₄ (Ppm)	C ₂ H ₂ (Ppm)	CO (Ppm)	Nilai TDCG (Ppm)	Kondisi
27-Apr-18	0	0	2	0	0	11	13	1
03-Sep-18	11	7	16	2	0	47	83	1
02-Jul-19	20	0	23	3	0	79	125	1
30-Jun-20	19	2	26	2	0	106	155	1
15-Apr-21	0	0	63	7	0	0	70	1
03-Jun-21	19	3	21	5	0	141	189	1
31-Dec-21	8	35	68	7	0	91	209	1

Berdasarkan tabel 8 hasil akhir dengan metode TDCG pada kondisi 1, dimana kondisi tersebut menjelaskan bahwa transformator beroperasi pada kondisi normal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian DGA untuk RAT 3 dan 4 dengan metode Key gas, Roger ratio, Dvual triangle dan TDCG sesuai dengan standar IEEE C57-104.2008 kinerja minyak trafo masih normal untuk beroperasi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Ariyani, "Analisis Dissolved Gas Analysis Dan Klasifikasi Tipe Fault Pada Minyak Trafo Dengan Metode Naive Bayes Classifier Pada Transformator Daya 150 kV," *J. Tek. Elektro dan Komputasi*, vol. 1, no. 1, pp. 36–45, 2019, doi: 10.32528/elkom.v1i1.2181.
- [2] A. Maruf and Y. Primadiyono, "Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 Mva Unit 1 Dan 2 Di Gi 150 Kv Kalisari," *Edu Elektr. J.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [3] R. Oktaviani, Y. M. Simanjutak, and M. G. C. Portable, "ANALISIS PENGUJIAN DGA MENGGUNAKAN METODA CHROMATOGRAPHY GAS SEBAGAI INDIKASI KEGAGALAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR GI 150 KV KOTA BARU," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 20, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/42556>.
- [4] J. Jumardin, J. Ilham, and S. Salim, "Studi Karakteristik Minyak Nilam Sebagai Alternatif Pengganti Minyak Transformator," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 40–48, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i2.2881.
- [5] Zhou, Yang, and Wang, "PERFORMANCE ANALYSIS OF STEP DOWN TYPE-TRANSFORMATOR OF FACTORIES AT THE COMPANY OF SURYA TOTO INDONESIA CIKUPA," *file:///C:/Users/VERA/Downloads/ASKEP_AGREGAT_ANAK_and_REMAJA_PRINT.docx*, vol. 21, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [6] N. Fithri, J. R. Auliya, J. Jend, A. Yani, and N. Palembang, "ANALISIS KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRANSFORMATOR 27 MVA PLTG 1 JAKABARNG Berdasarkan Hasil Uji DGA," 2008.
- [7] P. Studi, P. Teknik, F. Teknik, and U. N. Jakarta, *PENGARUH SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS MINYAK TRANSFORMATOR JENIS MINERAL*. 2017.
- [8] H. Sayogi, "Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang Hanung Sayogi L2F302486 Teknik Elektro Universitas Diponegoro Semarang."
- [9] U. L. Negara, "SPLN 491-2:19EtP," 1982.

-
- [10] F. R. A. Bukit, "Analisis Kekuatan Dielektrik Minyak Campuran Metil Ester Bunga Matahari Sebagai Isolasi Cair Pada Transformator," *J. Energy Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.37058/jeee.v3i1.3650.
- [11] O. E. Gouda, S. M. Saleh, and S. H. El-Hoshy, "Power transformer incipient faults diagnosis based on dissolved gas analysis," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 10–16, 2016, doi: 10.11591/ijeecs.v1.i1.pp10-16.
- [12] S. Bustamante, M. Manana, A. Arroyo, P. Castro, A. Laso, and R. Martinez, "Dissolved gas analysis equipment for online monitoring of transformer oil: A review," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 19, pp. 4–12, 2019, doi: 10.3390/s19194057.
- [13] A. Syakur, "Penerapan Metode Interpretasi Rasio Roger, Segitiga Duval, Breakdown Test, dan Water Content Test untuk Diagnosis Kelayakan Minyak Transformator," *Teknik*, vol. 40, no. 1, pp. 638–6, 2019, doi: 10.14710/teknik.v40n1.22056.
- [14] T. Committee of the IEEE Power Engineering Society, *IEEE Std C57.14-2005, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Silicone-Immersed Transformers*, vol. 2008, no. February, 2006.
- [15] M. R. Hidayat *et al.*, "Analisis Kemampuan Minyak Isolasi Transformator Daya Merek Unindo Dengan Pengujian Dissolved Gas Analysis dan Breakdown Voltage di Gardu Induk Serpong," *Epsil. J. Electr. Eng. Inf.*, pp. 100–106, 2020.