

# PENENTUAN KONDISI TRANSFORMATOR BERDASARKAN KANDUNGAN GAS TERLARUT MENGGUNAKAN METODE SEGITIGA DUVAL

I M.T. Sismantara\*, W.G. Ariastina, A.A.N. Amrita

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jl. Raya Kampus Unud, Bukit Jimbaran, Bali-80362

\*Email: tejasismantara@gmail.com

## ABSTRAK

Kegagalan transformator dapat mengganggu penyaluran daya listrik dan mengakibatkan kerugian yang tinggi pada perusahaan. Untuk mencegah terjadinya kegagalan, diperlukan pemantauan kondisi transformator secara berkesinambungan. *Dissolved Gas Analysis* (DGA) telah dikenal sebagai salah satu metode untuk memantau kondisi transformator. Berbagai teknik telah dikembangkan untuk membantu para teknisi dalam menginterpretasikan hasil pengujian DGA. Penelitian ini memperkenalkan interpretasi hasil pengujian DGA dengan menggunakan pendekatan *Fuzzy Logic* berdasarkan metode Segitiga Duval. *Fuzzy Logic* dikembangkan berdasarkan pemetaan berbagai area di dalam Segitiga Duval. Validasi program dilakukan dengan membandingkan luaran program dengan kondisi gangguan yang disimulasikan. Hasil analisis menunjukkan bahwa program yang dibuat telah berhasil menentukan kondisi transformator yang diuji dengan baik. Dengan demikian, program yang diperkenalkan dalam penelitian ini dapat memberikan keuntungan bagi para teknisi dibandingkan jika menggunakan metode konvensional dalam menentukan kondisi transformator.

**Kata kunci** : Transformator, Segitiga Duval, Fuzzy Logic

## ABSTRACT

*Transformer failure may interrupt the electrical power delivery and causing a very high cost to the utility. In order to prevent failure in the transformer, continuous condition monitoring of a power transformer is necessary. Dissolved Gas Analysis (DGA) has been well known method for transformer condition monitoring. A number of techniques have been developed in order to assist engineers in interpreting the DGA test results. In this research, interpretation of DGA test results using Fuzzy Logic approach based on Duval's Triangle is introduced. The Fuzzy Logic was developed based on the mapping of the different areas within the Duval Triangle. The program validation was carried out by comparing the output program with the simulated fault condition. The analysis results indicated that the introduced approach has successfully determined the condition of the tested transformers. This approach, thus, would provide advantages over the conventional method in determining the transformer condition.*

**Key Words**: Transformer, Duval Triangle, Fuzzy Logic

## 1. PENDAHULUAN

Metode konvensional *Total Dissolved Combustion Gasses (TDCG)*, *Key Gases*, *Roger's Ratio*, *Doernenburg's Ratio* dan *Duval's Triangle* (Segitiga Duval) merupakan metode yang hingga saat ini masih digunakan oleh para pakar dalam menganalisis kondisi transformator karena

telah teruji dan menjadi standar acuan internasional dalam menganalisis gangguan pada transformator. Penelitian tentang interpretasi hasil uji *Dissolved Gas Analysis (DGA)* telah banyak dilakukan diseluruh dunia. Salah satu penelitian yang menggunakan metode ini adalah Pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)* pada Trafo

Tenaga 150/20kV 60MVA di Gardu Induk Tambun [1]. Pada penelitian ini, dilakukan pengujian *DGA* serta analisis pada minyak transformator untuk menentukan gangguan yang terjadi. Sampel minyak yang digunakan adalah minyak pasca terjadinya gangguan, dengan cara mengambil sampel minyak selama tiga kali pada satu unit transformator yang telah mengalami kegagalan atau rusak. Analisis *DGA* yang digunakan adalah *TDCG*, *Key Gases*, *Roger's Ratio*, *Doernenburg's Ratio* dan Segitiga Duval. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki nilai tingkat keberhasilan yang berbeda-beda dalam menentukan gangguan pada transformator. Dengan menggunakan tiga sampel minyak tersebut, diperoleh hasil bahwa metode *TDCG* dan Segitiga Duval mampu memberikan nilai tingkat keberhasilan sebesar 100%, sedangkan metode *Doernenburg's Ratio* sebesar 66,66%. Diikuti selanjutnya oleh metode *Roger's Ratio* sebesar 33,33% dan *Key Gases* sebesar 0%.

Penelitian lain yang telah dilakukan adalah diagnosis kegagalan transformator menggunakan metode *DGA* dan jaringan Bayesian [2]. Penelitian ini berfokus pada diagnosis kegagalan transformator menggunakan jaringan Bayesian. Jaringan Bayesian didasarkan terutama pada data eksperimen dengan menggunakan *DGA* untuk menentukan parameter jaringan. Jaringan Bayesian juga bergantung pada pengalaman operator staf pemeliharaan untuk memutuskan kegagalan peralatan dari berbagai skenario dan pengaruhnya untuk menentukan struktur jaringan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa model yang diperkenalkan dalam kasus yang diteliti mampu mendiagnosis lima kegagalan termasuk keadaan normal, dibandingkan dengan metode *Roger's Ratio* yang hanya mampu mendiagnosis empat kegagalan. Setiap metode *DGA* menggunakan beberapa rasio gas, tetapi model Bayesian yang dikembangkan dalam penelitian ini mendukung semua rasio gas [2].

Penerapan *data mining* dengan algoritma J48 merupakan metode *DGA* lainnya yang mampu memberikan hasil yang cukup baik dalam menentukan kondisi transformator [3]. Metode ini dikembangkan untuk membantu meningkatkan performa klasifikasi pada kasus gangguan transformator, untuk itu diperlukan sebuah

pola pendekatan model non-matematis yang dapat memetakan hubungan antara *input* yang berupa data hasil uji *DGA* dengan *output* berupa jenis gangguan yang dihasilkan dengan menggunakan *cross-validation*. *Data training* dibagi menjadi  $k$  buah *subset* dimana nilai  $k$  adalah nilai dari *fold* yang selanjutnya untuk tiap *subset* akan dijadikan data tes dari hasil klasifikasi yang dihasilkan dari  $k-1$  subset lainnya. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *data mining classification* dengan menggunakan metode *cross validation* atau pohon keputusan dengan algoritma J48, dapat membentuk pohon keputusan prediksi jenis gangguan transformator yang diakibatkan oleh faktor gas yang terkandung dalam minyak transformator. Algoritma J48 dan CFS yang digunakan untuk menghitung probabilitas kandungan gas terlarut dalam minyak transformator menggunakan 10 *fold cross validation* menghasilkan akurasi data lebih baik, yaitu sebesar 92,12% dengan nilai rata-rata pada 10 kali percobaan sebesar 87,24%. Dengan menggunakan algoritma J48 ini, dapat diketahui melalui pohon keputusan nilai estimasi dari *variable continue* meskipun ada beberapa teknik yang lebih sesuai untuk beberapa kasus tertentu [3].

Metode pengolahan data *DGA* lainnya, adalah metode kecerdasan buatan, yang mana telah memberikan hasil yang positif dalam menganalisa kondisi transformator [4]. Kecerdasan buatan merupakan salah satu metode yang efektif dan efisien dalam melakukan pengolahan data berbagai bidang keilmuan. Salah satu cabang ilmu kecerdasan buatan adalah jaringan syaraf tiruan yang telah digunakan untuk mendiagnosis kegagalan pada transformator berdasarkan metode *DGA*. Model *back propagation* jaringan syaraf tiruan dibangun berdasarkan *DGA* dari metode aturan standard IEC. Hasil penelitian ini merujuk pada keandalan model jaringan syaraf tiruan sebagai alat diagnosis untuk kegagalan transformator, dengan akurasi melebihi 90% [4].

*Back Propagation* merupakan metode pembelajaran yang paling umum digunakan dalam menganalisis data menggunakan jaringan syaraf tiruan, namun terdapat metode pembelajaran lainnya seperti *resilient back propagation* [5]. Metode pembelajaran RP (*Resilient Back Propagation*) dengan topologi MLP (*Multi-*

*Layer Perceptron Neural Network*) dan pemroses awal dibagi merata dibandingkan dengan metode lain yang pernah dipakai dan diteliti. Metode pembelajaran RP dipilih walaupun Metode LM (*Levenberg-Marquardt*) memberikan kecepatan yang terbaik saat pembelajaran, karena pada saat penggunaan tidak lagi melakukan pembelajaran sehingga kecepatan pembelajaran tidak begitu penting, sedangkan metode LM mempunyai beban komputasi yang lebih besar dibandingkan dengan RP. Metode LM dirasakan lebih tepat untuk aplikasi *online* dengan bobot yang adaptif. Apabila dibandingkan dengan metode konvensional seperti *Flag Point*, *Key Gasses*, *IEC*, dan *Roger's Ratio*, metode MLP menunjukkan tingkat kebenaran yang jauh lebih baik. Hal ini karena metode konvensional tidak mempunyai kemampuan belajar dari data transformator yang terkena gangguan permulaan, sehingga tidak mampu mendeteksi gangguan permulaan pada transformator yang berbeda-beda karakteristiknya. Keunggulan metode JST ini sangat menonjol pada kemampuan belajarnya sehingga karakteristik yang berbeda dari transformator mampu ditangani dengan baik [5].

Cabang ilmu kecerdasan buatan lainnya yaitu Metode *Fuzzy Logic* telah pula dikembangkan untuk menganalisis kondisi isolasi minyak transformator. Salah satu aplikasi metode ini adalah penelitian dengan judul Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode *Dissolved Gas Analysis* dan *Fuzzy Logic* Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo [6]. Penelitian ini menganalisis keadaan minyak transformator dengan menggunakan *Fuzzy Logic* yang dibangun berdasarkan analisis *DGA* pada Metode *TDCG* dengan menggunakan 7 gas *input* yaitu Hidrogen ( $H_2$ ), Metana ( $CH_4$ ), Etana ( $C_2H_6$ ), Etilen ( $C_2H_4$ ), Asetilen ( $C_2H_2$ ), Karbondioksida ( $CO_2$ ) dan Karbonmonoksida ( $CO$ ). Pada penelitian ini *fuzzy logic* dibangun dengan menambahkan gas nitrogen sebagai *input* karena nitrogen merupakan salah satu bagian gas atmosferik yang berpengaruh terhadap gangguan yang terjadi pada transformator. Untuk mengetahui kinerja *Fuzzy Logic* pada penelitian ini, dilakukan uji tegangan tembus pada minyak transformator, yang mana hasilnya menunjukkan bahwa terdapat kesesuaian

antara hasil analisis minyak transformator oleh *Fuzzy Logic* dengan hasil uji tegangan tembus minyak transformator yang sebenarnya.

Gangguan yang terjadi pada transformator dapat disebabkan oleh berbagai macam peristiwa seperti adanya *partial discharge*, *arcing*, ataupun panas berlebih, sehingga terdapat beberapa gas yang timbul akibat dari aktivitas tersebut. Jumlah gas yang terlarut dalam minyak dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan kondisi transformator. Pada penelitian ini, metode *Fuzzy Logic* digunakan untuk menganalisis gas-gas yang terlarut dalam minyak transformator dengan menggunakan pendekatan Segitiga Duval. Fungsi keanggotaan dan *rule base* diperoleh dari pemetaan wilayah pada masing-masing sisi Segitiga Duval, yaitu  $CH_4$ ,  $C_2H_2$ , dan  $C_2H_4$ . Desain *Fuzzy Logic* yang digunakan untuk menganalisis kondisi transformator dibangun dengan *GUI program* menggunakan bahasa pemrograman Python. Validasi program dilakukan dengan menggunakan nilai input bebas untuk memastikan program mampu berjalan dengan baik. Selanjutnya dilakukan implementasi program dengan menggunakan hasil uji *DGA* dari 8 unit transformator daya yang berbeda.

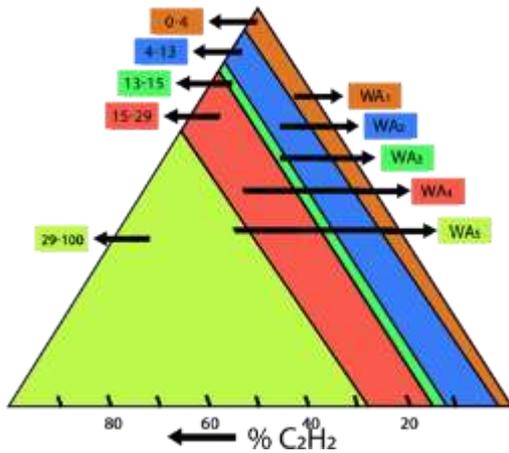
## 2. METODE PENELITIAN

Tahapan analisis dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data hasil uji *DGA* transformator, meliputi data konsentrasi gas Metana ( $CH_4$ ), Etilen ( $C_2H_4$ ) dan Asetilen ( $C_2H_2$ ).
2. Melakukan pemetaan wilayah masing-masing gas pada Segitiga Duval.
3. Membuat rancangan logika *Fuzzy Logic* yang meliputi penentuan fungsi keanggotaan *output* kondisi pada Segitiga Duval dan penyusunan *rule-based system* yang mengacu pada pemetaan wilayah kondisi transformator pada Segitiga Duval.
4. Membuat *GUI Program* aplikasi berbasis *desktop* dengan menggunakan bahasa pemrograman Python
5. Melakukan validasi terhadap program yang telah dibuat dengan menggunakan sejumlah skenario hasil uji *DGA*.
6. Mengimplementasikan program yang dibuat untuk menentukan kondisi transformator.
7. Membuat kesimpulan.



Untuk pembentukan dasar logika fuzzy, wilayah gas Asetilen juga dibagi menjadi lima yaitu  $WA_1$ ,  $WA_2$ ,  $WA_3$ ,  $WA_4$  dan  $WA_5$ , seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Rentang nilai konsentrasi gas asetilen pada  $WA_1$  adalah 0 – 4%, pada  $WA_2$  adalah 4 – 13%, dan pada  $WA_3$  adalah 13 – 15%. Selanjutnya, rentang nilai konsentrasi gas asetilen pada  $WA_4$  adalah 15 – 29% dan pada  $WA_5$  adalah 29 – 100%.



Gambar 4. Pemetaan Wilayah Gas Asetilen

Setelah melakukan pemetaan wilayah pada Segitiga Duval, selanjutnya dilakukan penyusunan program yang meliputi *main script fuzzy logic* dan *graphic user interface script*. Tampilan hasil program dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan Program

### 3.3 Validasi Program

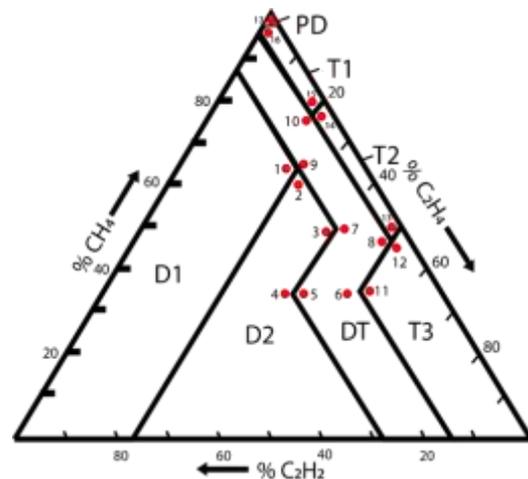
Sebelum dilakukan implementasi, program terlebih dahulu diuji melalui berbagai skenario gangguan yang dinyatakan dalam berbagai kandungan gas

terlarut dalam minyak. Tabel 1 menunjukkan variasi konsentrasi gas terlarut yang digunakan untuk validasi program.

Tabel 1. Skenario konsentrasi gas terlarut untuk validasi program

No	Konsentrasi Gas (ppm)		
	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
1	63	22	15
2	61	24	15
3	48	38	14
4	32	38	30
5	32	41	27
6	31	43	16
7	48	41	11
8	47	48	5
9	66	22	12
10	76	19	5
11	35	52	13
12	46	51	3
13	48	49	3
14	75	22	3
15	77	18	3
16	97	1	2
17	99	0	1

Gambar 6 menunjukkan 17 skenario konsentrasi gas terlarut dalam minyak yang mana posisinya dalam Segitiga Duval dinyatakan dalam bentuk titik-titik merah. Skenario gangguan difokuskan pada wilayah kritis yang berada di sekitar perbatasan wilayah seperti telah dijelaskan pada Sub Bab 3.1.



Gambar 6. Skenario Validasi Program

Hasil validasi program menunjukkan bahwa program mampu menentukan kondisi transformator sesuai dengan 17 skenario pengujian yang telah ditentukan. Hasil validasi program ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Validasi Program

Skenario	Hasil Validasi
1	D1 (Discharge of low energy)
2	D2 (Discharge of high energy)
3	D2 (Discharge of high energy)
4	D2 (Discharge of high energy)
5	DT (Mix of thermal and electrical fault)
6	DT (Mix of thermal and electrical fault)
7	DT (Mix of thermal and electrical fault)
8	DT (Mix of thermal and electrical fault)
9	DT (Mix of thermal and electrical fault)
10	DT (Mix of thermal and electrical fault)
11	T3 (Thermal fault, t >700 °C)
12	T3 (Thermal fault, t >700 °C)
13	T2 (Thermal fault 300 °C < t <700 °C)
14	T2 (Thermal fault 300 °C < t <700 °C)
15	T1 (Thermal fault, t <300 °C)
16	T1 (Thermal fault, t <300 °C)
17	PD (Partial Discharge)

**3.4 Implementasi Program**

Setelah melalui proses validasi, selanjutnya dilakukan implementasi program untuk menginterpretasikan kondisi transformator berdasarkan hasil uji DGA. Data hasil uji DGA dari 8 unit transformator daya seperti dijelaskan pada Tabel 3 digunakan untuk implementasi program.

Tabel 3. Hasil uji DGA

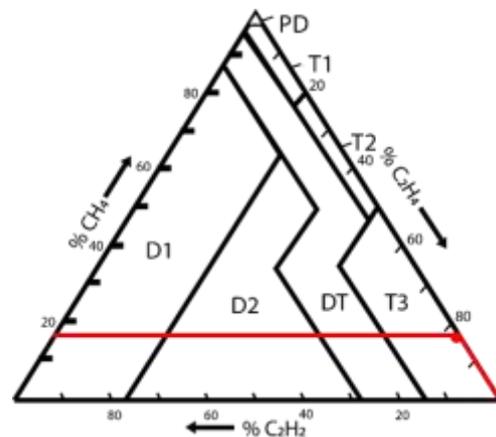
No	Unit	Kandungan Gas Terlarut (ppm)		
		CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
1.	Trafo PLTG 1	11	57	0
2.	Trafo PLTG 2	15	9	0
3.	Trafo PLTG 3	51	11	0
4.	Trafo PLTG 4	48	17	0
5.	Main Trafo Block 1	85	13	0
6.	Main Trafo Block 2	58	12	0
7.	Main Trafo Block 3	26	32	0

8.	Main Trafo Block 4	51	6	0
----	--------------------	----	---	---

Interpretasi hasil uji DGA pada transformator dapat dilakukan dengan menggunakan Segitiga Duval. Sebagai contoh, hasil uji DGA pada transformator PLTG 1 adalah CH<sub>4</sub> = 11 ppm, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = 57 ppm dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = 0 ppm. Komposisi gas-gas tersebut dalam persen dapat ditentukan seperti berikut ini:

- Gas CH<sub>4</sub> =  $\frac{11}{11+57+0} \times 100\% = 16\%$
- Gas C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> =  $\frac{57}{11+57+0} \times 100\% = 84\%$
- Gas C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> =  $\frac{0}{11+57+0} \times 100\% = 0\%$

Selanjutnya interpretasi hasil uji DGA dengan menggunakan Segitiga Duval dapat ditentukan seperti terlihat pada Gambar 7. Dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa komposisi gas-gas tersebut berada di area T3, yang menandakan bahwa transformator PLTG 1 mengalami gangguan termal di atas 700°C. Interpretasi hasil uji DGA 8 unit transformator dengan menggunakan program dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil interpretasi menunjukkan bahwa seluruh transformator mengalami gangguan termal, dengan variasi di bawah 300°C sampai dengan di atas 700°C.



Gambar 7. Interpretasi hasil uji DGA Transformator PLTG 1

Tabel 4. Interpretasi hasil uji DGA dengan menggunakan program

No.	Unit	Interpretasi
1.	Trafo PLTG 1	T3
2.	Trafo PLTG 2	T2
3.	Trafo PLTG 3	T1

4.	Trafo PLTG 4	T2
5.	Main Trafo Block 1	T1
6.	Main Trafo Block 2	T1
7.	Main Trafo Block 3	T3
8.	Main Trafo Block 4	T1

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil validasi dan implementasi program, dapat diambil kesimpulan bahwa program *Fuzzy Logic* yang disusun mampu mengidentifikasi dengan sangat akurat, hasil uji analisis kandungan gas terlarut dari berbagai kondisi transformator daya.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shidiq, S. 2019. Pengujian Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60MVA Di Gardu Induk Tambun. JREC. 7 (1) : 2550-0899
- [2] Lakehal et al. 2015. Transformer fault diagnosis using Dissolved Gas Analysis technology and Bayesian networks. IEEE, 7152759.
- [3] Pramono, A. 2016. Analisis Minyak Transformator Daya Berdasarkan Dissolved Gas Analysis (DGA) Menggunakan Data Mining Dengan Algoritma J48. Telematika. 9 (2) : 2442-4528.
- [4] Ghoneim, S.S.M., Taha, I.B. 2015. Artificial Neural Networks for Power Transformers Fault Diagnosis Based on IEC Code Using Dissolved Gas Analysis. IJCAS, 4 (2) : 2165-8285.
- [5] Setiawan, N.A. 2005. Diagnosis Gangguan Permulaan Transformator Daya Dengan Jaringan Syaraf Tiruan. Telkomnika. 3 (3) : 1693-6930
- [6] Sinuhaji, Y. P. 2012. "Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo" (skripsi). Jember: Universitas Jember.