

# Analisis Kualitas Minyak Isolasi Transformator Dengan Membandingkan Metode *Fuzzy* Mamdani dan Sugeno

Dinar Wulan Hastatimur\*, Wahyu Dirgantara, Rifki Hari Romadhon

Teknik Elektro, Universitas Merdeka, Malang

\*hastatimur77@gmail.com

**Abstrak**— Era digitalisasi saat ini semakin mengalami perkembangan cukup drastis setelah pandemi yang melanda dunia pada tahun 2020-2023. Hal ini berdampak pada maraknya penggunaan teknologi yang menggunakan energi listrik sebagai sumber daya utamanya. Pada sistem penyaluran listrik, terdapat beberapa peralatan yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik agar kegiatan masyarakat dapat berjalan dengan normal. Salah satu peralatan yang digunakan adalah transformator daya. Transformator daya digunakan untuk menyalurkan serta mengubah tegangan menjadi tegangan lainnya agar dapat disalurkan ke jaringan listrik. Tingginya kebutuhan energi listrik ini berdampak pada penggunaan transformator. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk menjaga kualitas transformator agar transformator dapat bekerja sesuai kebutuhan energi listrik. Upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pengujian rutin. Pengujian yang dilakukan pada transformator oleh PT PLN (Persero) diantaranya adalah uji kualitas minyak isolasi transformator atau disebut dengan *Dissolved Gas Analysis (DGA)*. Pengujian ini dilakukan untuk mendeteksi kadar gas terlarut dalam minyak isolasi. Penggunaan *fuzzy logic* pada penelitian ini adalah untuk membantu mengambil keputusan terkait keadaan minyak isolasi berdasarkan hasil pengujian DGA yang dilakukan oleh PT PLN (Persero). *Fuzzy logic* digunakan karena mampu menyelesaikan dengan perhitungan pada nilai yang lebih detail sehingga hasil yang didapatkan lebih spesifik. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil pengujian berupa kondisi minyak isolasi transformator di Gardu Induk (GI) Ploso pada tahun 2023.

**Kata Kunci**—DGA, Fuzzy Logic, Gardu Induk, Minyak Isolasi, Transformator

DOI: 10.22441/jte.2023.v14i3.004

## I. PENDAHULUAN

Pandemi yang melanda dunia pada tahun 2020 hingga 2023 membuat hampir seluruh manusia melakukan aktivitas di dalam rumah untuk mengurangi penularan. Akibatnya, kebutuhan energi listrik juga semakin meningkat karena semakin banyaknya aktivitas yang dilakukan di dalam rumah yang membutuhkan listrik sebagai sumber energi. Salah satu peralatan yang digunakan untuk penyaluran energi listrik adalah transformator.

Transformator adalah peralatan yang digunakan untuk mentransformasikan daya dengan sistem *Alternating Current (AC)* dari tegangan yang satu menuju tegangan yang lainnya [1]. Transformator menggunakan minyak sebagai media isolasi dan media pendingin. Agar keandalan kinerja trafo tetap terjaga, maka diperlukan pemeliharaan berdasarkan prosedur yang telah ditetapkan, diantaranya adalah pemeliharaan terencana atau *preventive maintenance*, pemeliharaan dengan sifat perbaikan

atau *corrective maintenance*, serta pemeliharaan berdasarkan kondisi dari peralatan tersebut atau biasa disebut dengan *conditional based maintenance* dan juga pemeliharaan yang dilakukan setiap terjadi gangguan atau kerusakan pada peralatan atau disebut dengan *breakdown maintenance* [2]. Salah satu jenis pengujian yang dilakukan pada transformator adalah pengujian DGA. Pengujian DGA merupakan pengujian untuk menentukan kualitas minyak dengan menganalisis jenis dan jumlah kandungan gas terlarut pada minyak isolasi [3]. Pengujian ini dilakukan dengan mengambil sampel minyak dari *main tank* transformator untuk kemudian dilakukan pengujian kadar gas pada alat uji *DGA Portable* untuk mengetahui kadar gas terlarut pada minyak isolasi transformator. Jenis gas yang diproduksi pada transformator dapat digunakan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan pada transformator, diantaranya adalah metana, hidrogen, etana, etilena, asetilena, karbon monoksida, dan karbon dioksida [4]. Jika transformator dioperasikan terus menerus, hal ini dapat membuat reaksi terhadap rantai hidrokarbon yang dapat menyebabkan *partial discharge*, panas berlebih, *arching* yang kemudian dapat memicu timbulnya api [5]. Selain menggunakan alat uji *DGA Portable*, dapat juga digunakan metode *fuzzy logic* untuk membantu pengambilan keputusan terhadap kondisi minyak isolasi transformator.

Pada penelitian ini, digunakan data hasil pengujian DGA pada transformator 1, transformator 2, transformator 3 di Gardu Induk Ploso pada tahun 2023.

## II. PENELITIAN TERKAIT

Anni et al., [6] pada tahun 2022 melakukan penelitian terhadap kondisi minyak isolasi trafo berdasarkan kadar gas terlarut di mana dapat menganalisis kondisi transformator di 3 Gardu induk dengan melakukan penggabungan metode sistem pakar dan *fuzzy* untuk memutuskan data analisis gas terlarut.

Sinuhaji et al., [7] pada tahun 2014 mengidentifikasi kondisi minyak isolasi transformator pada Gardu Induk di wilayah Sidoarjo dengan menggunakan logika *fuzzy* berdasarkan data DGA dengan menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan standar IEEE. Pengujian ini juga dilakukan dengan membandingkan antara hasil pengujian menggunakan *fuzzy logic* dengan pengujian tegangan tembus agar hasil yang didapat lebih optimal.

Amri et al., [8] pada 2012 membahas mengenai pengaruh analisis DGA terhadap kinerja transformator dengan menggunakan metode *fuzzy* dengan membandingkan hasil uji DGA yang dilakukan oleh PT PLN (Persero) dengan metode *fuzzy logic*.

Tohari et al., [9] pada tahun 2020, penelitian ini membahas mengenai kerusakan pada transformator yang ditandai dengan naiknya temperatur pada minyak berbanding lurus dengan kenaikan konsentrasi *fault* pada gas. Analisis dengan menggunakan DGA dapat dilakukan sebagai langkah untuk perencanaan terhadap pemeliharaan trafo. Tingkat akurasi dari hasil uji DGA sangat bergantung terhadap tingkat kemurnian sampel minyak yang diambil.

Sismantara et al., [10] pada tahun 2021, membahas tentang dampak kegagalan transformator pada penyaluran daya listrik yang dapat menimbulkan kerugian pada perusahaan. Sehingga dilakukan pemantauan kondisi transformator dengan melkaukan pengujian DGA sebagai salah satu metodenya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pendekatan fuzzy logic berdasarkan metode duval. Hasil analisis didapatkan bahwa program yang dibuat dapat berjalan dengan baik sehingga dapat memberikan keuntungan bagi para teknisi di lapangan dalam menentukan kondisi transformator.

Prayitno et al., [11] tahun 2022, penelitian ini membahas mengenai pentingnya minyak trafo sebagai komponen isolasi untuk mempertahankan kinerja trafo dalam penyaluran tenaga listrik. Untuk mengetahui kandungan gas terlarut, dilakukan oengujian DGA dengan menggunakan Myrcos Portable DGA *Micro Gas Chromatograph* – Morgan Schaffer-Doble. Jika sudah diketahui jenis kegagalan pada trafo, maka dapat diberikan saran mengenai tindak lanjut agar kerusakan tidak semakin parah.

Hastungkoro [12] tahun 2023, membuat penelitian mengenai analisis kegagalan pada trafo dengan menggunakan metode TDCG dan Fuzzy Sugeno berbasis desktop. Penelitian ini diawali dengan kerusakan pada transformator yang berawal dari minyak isolasi dapat menyebabkan timbulnya beberapa kerusakan diantaranya panas berlebih, korona, dan *arching*. Dengan menggunakan perbandingan antara metode TDCG dan fuzzy logic, maka akan didapatkan hasil yang maksimal dalam pengambilan keputusan.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

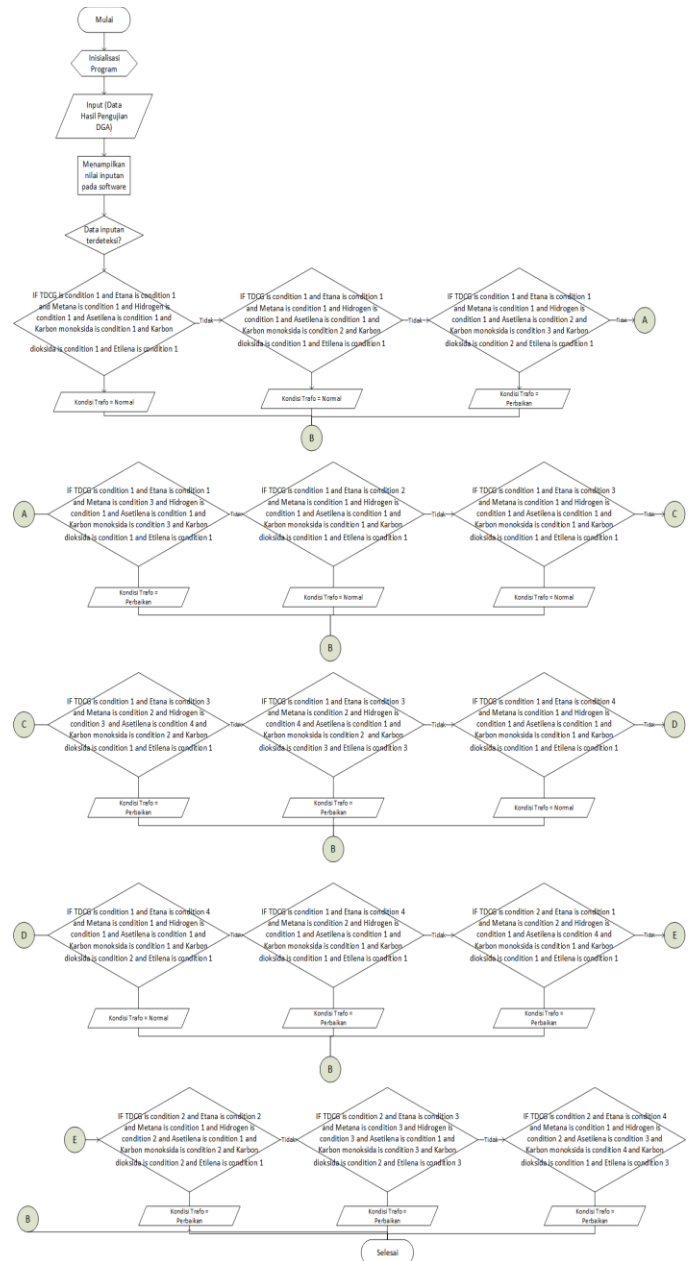
Metodologi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengumpulan data, dan perhitungan nilai kondisi minyak isolasi trafo menggunakan metode *fuzzy logic* mamdani dan sugeno. Variabel yang digunakan berupa hasil uji DGA transformator 1, transformator 2, dan transformator 3 pada Gardu Induk Ploso sebagai *input*.

#### A. Objek Penelitian

Objek penelitian ini menggunakan data hasil pengujian kualitas minyak isolasi gas pada transformator 1, transformator 2, dan transformator 3.

#### B. Prosedur Penelitian

Gambar 1 menunjukkan flowchart sistem dari penelitian yang akan dilakukan. Pada proses *fuzzy*, data input akan diubah oleh fuzzifier menjadi nilai *fuzzy* kemudian diolah dengan menggunakan aturan *fuzzy*. Selanjutnya akan ditegaskan kembali pada tahap defuzzifikasi untuk didapatkan keluaran.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem

### IV. HASIL DAN ANALISA

#### A. Fuzzy Logic

Logika fuzzy dianggap sebagai cara untuk mengolah data dengan menggunakan serangkaian himpunan keanggotaan yang diawali dari proses persepsi serta penalaran manusia [13].

##### a) Pembentukan himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* dibentuk dari persamaan variabel dan kelompok yang ada. Hal ini yang dimaksud adalah gas terlarut pada minyak isolasi trafo

##### b) Aplikasi fungsi implikasi

Penelitian ini menggunakan jenis fungsi keanggotaan min. Selanjutnya menggunakan kurva garis lurus pada setiap fungsi keanggotaannya.

c) Penentuan komposisi aturan

Pada penelitian ini dari 8 input yang digunakan, hanya akan digunakan 15 aturan yang paling mendekati dan sesuai dengan kondisi di lapangan. Hal ini digunakan agar proses pengolahan data dapat dilakukan dengan lebih cepat.

d) Defuzzifikasi

Pada langkah defuzzifikasi, metode yang digunakan memiliki perbedaan pada metode mamdani dan sugeno.

1. Mamdani

Pada metode Mamdani, langkah defuzzifikasi adalah menggunakan *centroid*. Rumus (1) yang digunakan untuk penyelesaian defuzzifikasi adalah [14]:

$$Z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \tag{1}$$

2. Sugeno

Pada metode Sugeno, langkah defuzzifikasi menggunakan rumus (2) sebagai berikut [15]:

$$z = \frac{(\alpha - predikat1 * z1) + \dots + (\alpha - predikatn * zn)}{(\alpha - predikat1) + \dots + (\alpha - predikatn)} \tag{2}$$

B. Batas Kandungan Gas Pada Minyak Isolasi

Berdasarkan IEEE Std C57.104<sup>TM</sup>-2008 [16] yang digunakan oleh PT PLN (Persero), terdapat batasan kandungan gas dalam minyak isolasi agar transformator dapat bekerja dengan aman dan andal.

Tabel 1. Batas Kandungan gas terlarut pada minyak isolasi

Kadar Gas	Kondisi			
	1	2	3	4
TDCG	720	721-1920	1921-4630	>4630
Etana	65	66-100	101-150	>150
Metana	120	121-400	401-1000	>1000
Hidrogen	100	101-700	700-1800	>1800
Asetilena	1	2-9	10-35	>35
Karbon monoksida	350	351-570	571-1400	>1400
Karbon dioksida	2500	2500-4000	4001-10000	>10000
Etilena	50	51-100	101-200	>200

C. Deskripsi Data

1. Transformator 1

Data hasil uji DGA transformator 1 di GI Ploso ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 2. Hasil Uji DGA Trafo 1 Tahun 2023

Gas	Konsentrasi (ppm)
TDCG	617
Etana	293
Metana	127
Hidrogen	16
Asetilena	0
Karbon monoksida	170
Karbon dioksida	2087
Etilena	11

2. Transformator 2

Tabel 3. Hasil Uji DGA Trafo 2

Gas	Konsentrasi (ppm)
TDCG	463
Etana	188
Metana	118
Hidrogen	45
Asetilena	0
Karbon monoksida	108
Karbon dioksida	2780
Etilena	4

3. Transformator 3

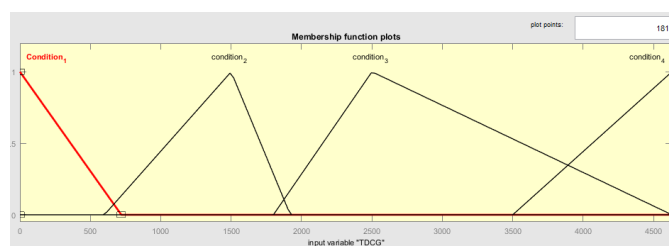
Tabel 4. Hasil Uji DGA Trafo 3

Gas	Konsentrasi (ppm)
TDCG	347
Etana	11
Metana	28
Hidrogen	0
Asetilena	0
Karbon monoksida	306
Karbon dioksida	1936
Etilena	2

D. Fuzzy Logic

a. Analisis Variabel TDCG

Variabel TDCG dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya *condition 1*, *condition 2*, *condition 3*, dan *condition 4*. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 2.



Gambar 2. Membership Function TDCG

Fungsi keanggotaan untuk variabel TDCG menggunakan range 0 hingga 4630. Untuk keanggotaan *condition 1* memiliki domain [0 0 720], *condition 2* domain [600 1500 1920], *condition 3* domain [1800 2500 4630], *condition 4* domain [3500 4630 4630]. Bentuk perhitungan secara manual adalah (3):

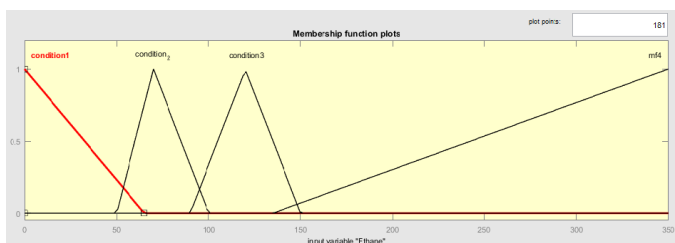
$$\mu_{condition 1} = \begin{cases} \frac{720-x}{720-0}, & 0 < x < 720 \\ \frac{x-600}{1500-600}, & 600 < x < 1500 \\ 1, & x = 1500 \\ \frac{1920-x}{1920-1500}, & 1500 < x < 1920 \end{cases} \tag{3}$$

$$\mu_{\text{condition 3}} = \begin{cases} \frac{x-1800}{2500-1800}, & 1800 < x < 2500 \\ 1, & x = 2500 \\ \frac{4630-x}{4630-2500}, & 2500 < x < 4630 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 4}} = \begin{cases} \frac{x-3500}{4630-3500}, & 3500 < x < 4630 \end{cases}$$

b. Analisis Variabel Etana

Variabel Etana dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya *condition 1*, *condition 2*, *condition 3*, dan *condition 4*. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 3:



Gambar 3. Membership Function Etana

Fungsi keanggotaan untuk variabel Etana menggunakan range 0 hingga 350. Untuk keanggotaan *condition 1* memiliki domain [0 0 65], *condition 2* domain [50 70 100], *condition 3* domain [90 120 150], *condition 4* domain [135 350 350]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 4.

$$\mu_{\text{condition 1}} = \begin{cases} \frac{65-x}{65-0}, & 0 < x < 65 \end{cases}$$

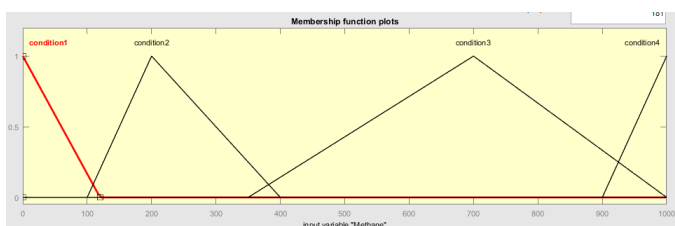
$$\mu_{\text{condition 2}} = \begin{cases} \frac{x-50}{70-50}, & 50 < x < 70 \\ 1, & x = 70 \\ \frac{100-x}{100-70}, & 70 < x < 100 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 3}} = \begin{cases} \frac{x-90}{120-90}, & 90 < x < 120 \\ 1, & x = 120 \\ \frac{150-x}{150-120}, & 120 < x < 150 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 4}} = \begin{cases} \frac{x-135}{350-135}, & 135 < x < 350 \end{cases}$$

c. Analisis Variabel Metana

Variabel Metana dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya *condition 1*, *condition 2*, *condition 3*, dan *condition 4*. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 4:



Gambar 4. Membership Function Etana

Fungsi keanggotaan untuk variabel Metana menggunakan range 0 hingga 1000. Untuk keanggotaan *condition 1* memiliki domain [0 0 120], *condition 2* domain [100 200 400], *condition*

3 domain [350 700 1000], *condition 4* domain [900 1000 1000]. Bentuk perhitungan secara manual adalah:

$$\mu_{\text{condition 1}} = \begin{cases} \frac{120-x}{12-0}, & 0 < x < 120 \end{cases}$$

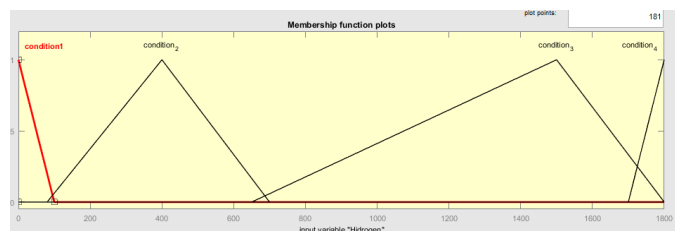
$$\mu_{\text{condition 2}} = \begin{cases} \frac{x-100}{200-100}, & 100 < x < 200 \\ 1, & x = 200 \\ \frac{400-x}{400-100}, & 200 < x < 400 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 3}} = \begin{cases} \frac{x-350}{700-350}, & 350 < x < 700 \\ 1, & x = 700 \\ \frac{1000-x}{1000-700}, & 700 < x < 1000 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 4}} = \begin{cases} \frac{x-900}{1000-900}, & 900 < x < 1000 \end{cases}$$

d. Analisis Variabel Hidrogen

Variabel Hidrogen dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya *condition 1*, *condition 2*, *condition 3*, dan *condition 4*. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5. Membership Function Hidrogen

Fungsi keanggotaan untuk variabel Metana menggunakan range 0 hingga 1800. Untuk keanggotaan *condition 1* memiliki domain [0 0 100], *condition 2* domain [80 400 700], *condition 3* domain [650 1500 1700], *condition 4* domain [1700 1800 1800]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 6.

$$\mu_{\text{condition 1}} = \begin{cases} \frac{100-x}{100-0}, & 0 < x < 100 \end{cases}$$

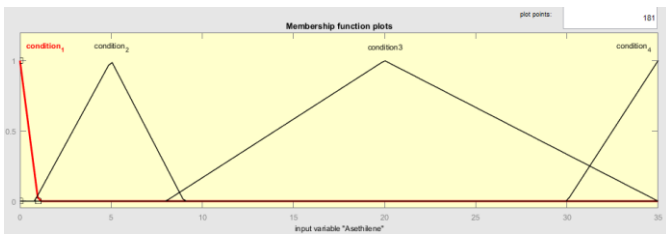
$$\mu_{\text{condition 2}} = \begin{cases} \frac{x-80}{400-80}, & 80 < x < 400 \\ 1, & x = 400 \\ \frac{700-x}{700-400}, & 400 < x < 700 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 3}} = \begin{cases} \frac{x-650}{1500-650}, & 650 < x < 1500 \\ 1, & x = 1500 \\ \frac{1700-x}{1700-1500}, & 1500 < x < 1700 \end{cases}$$

$$\mu_{\text{condition 4}} = \begin{cases} \frac{x-1700}{1800-1700}, & 1700 < x < 1800 \end{cases}$$

e. Analisis Variabel Asetilena

Variabel Asetilena dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya *condition 1*, *condition 2*, *condition 3*, dan *condition 4*. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 6.



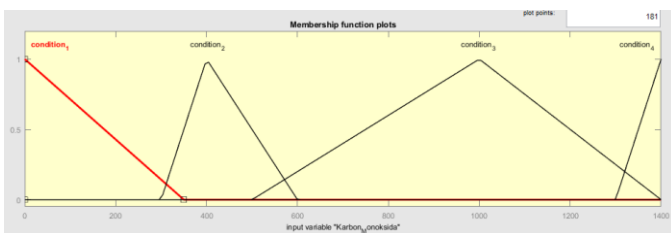
Gambar 6. Membership Function Asetilena

Fungsi keanggotaan untuk variabel Metana menggunakan range 0 hingga 35. Untuk keanggotaan condition 1 memiliki domain [0 0 1], condition 2 domain [0.8 5 9], condition 3 domain [8 20 35], condition 4 domain [30 35 35]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 6.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{condition 1}} &= \begin{cases} \frac{1-x}{1-0}, & 0 < x < 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 2}} &= \begin{cases} \frac{x-0.8}{5-0.8}, & 0.8 < x < 5 \\ 1, & x = 5 \\ \frac{9-x}{9-5}, & 5 < x < 9 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 3}} &= \begin{cases} \frac{x-8}{20-8}, & 8 < x < 20 \\ 1, & x = 20 \\ \frac{35-x}{35-20}, & 20 < x < 35 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 4}} &= \begin{cases} \frac{x-30}{35-30}, & 30 < x < 35 \end{cases} \end{aligned} \quad (6)$$

f. Analisis Variabel Karbon monoksida

Variabel Karbon monoksida dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya condition 1, condition 2, condition 3, dan condition 4. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 7.



Gambar 7. Membership Function Karbon Monoksida

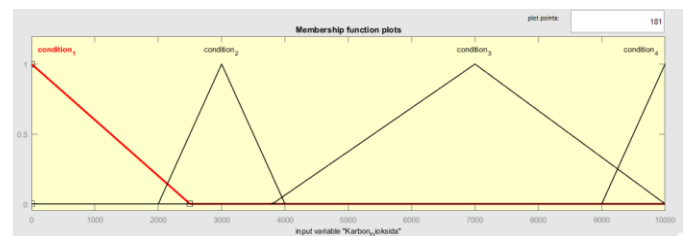
Fungsi keanggotaan untuk variabel karbon monoksida menggunakan range 0 hingga 1400. Untuk keanggotaan condition 1 memiliki domain [0 0 350], condition 2 domain [300 400 600], condition 3 domain [500 1000 1400], condition 4 domain [1300 1400 1400]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 7.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{condition 1}} &= \begin{cases} \frac{350-x}{350-0}, & 0 < x < 350 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 2}} &= \begin{cases} \frac{x-300}{400-300}, & 300 < x < 400 \\ 1, & x = 400 \\ \frac{600-x}{600-400}, & 400 < x < 600 \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{condition 3}} &= \begin{cases} \frac{x-500}{1000-500}, & 500 < x < 1000 \\ 1, & x = 1000 \\ \frac{1400-x}{1400-1000}, & 1000 < x < 1400 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 4}} &= \begin{cases} \frac{x-1300}{1400-1300}, & 1300 < x < 1400 \end{cases} \end{aligned}$$

g. Analisis Variabel Karbon dioksida

Variabel Karbon dioksida dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya condition 1, condition 2, condition 3, dan condition 4. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 8.



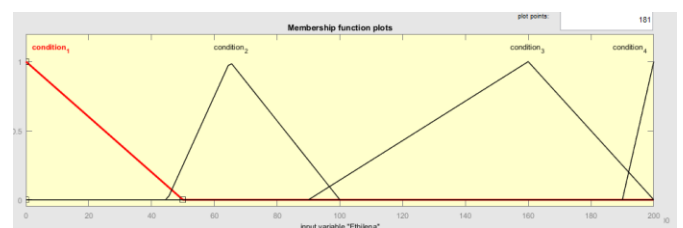
Gambar 8. Membership Function Karbon dioksida

Fungsi keanggotaan untuk variabel karbon dioksida menggunakan range 0 hingga 10000. Untuk keanggotaan condition 1 memiliki domain [0 0 2500], condition 2 domain [2000 3000 4000], condition 3 domain [3800 7000 10000], condition 4 domain [9000 10000 10000]. Bentuk perhitungan secara manual adalah:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{condition 1}} &= \begin{cases} \frac{2500-x}{2500-0}, & 0 < x < 2500 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 2}} &= \begin{cases} \frac{x-2000}{3000-2000}, & 2000 < x < 3000 \\ 1, & x = 3000 \\ \frac{4000-x}{4000-3000}, & 3000 < x < 4000 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 3}} &= \begin{cases} \frac{x-3800}{7000-3800}, & 3800 < x < 7000 \\ 1, & x = 7000 \\ \frac{10000-x}{10000-7000}, & 7000 < x < 10000 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 4}} &= \begin{cases} \frac{x-9000}{10000-9000}, & 9000 < x < 10000 \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

h. Analisis Variabel Etilena

Variabel Etilena dibagi menjadi 4 himpunan, diantaranya condition 1, condition 2, condition 3, dan condition 4. Keempat himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 9.



Gambar 9. Membership Function Etilena

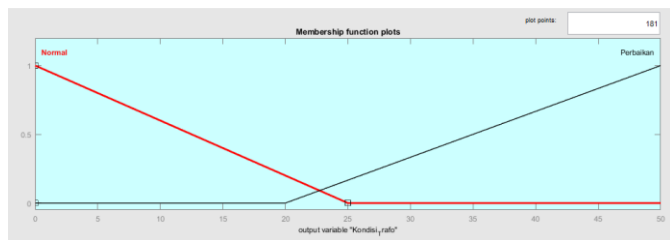
Fungsi keanggotaan untuk variabel Etilena menggunakan range 0 hingga 200. Untuk keanggotaan condition 1 memiliki

domain [0 0 50], condition 2 domain [45 65 100], condition 3 domain [90 160 200], condition 4 domain [190 200 200]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 9.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{condition 1}} &= \begin{cases} \frac{50-x}{50-0}, & 0 < x < 50 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 2}} &= \begin{cases} \frac{x-45}{65-45}, & 45 < x < 65 \\ 1, & x = 65 \\ \frac{100-x}{100-65}, & 65 < x < 100 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 3}} &= \begin{cases} \frac{x-90}{160-90}, & 90 < x < 160 \\ 1, & x = 160 \\ \frac{200-x}{200-160}, & 160 < x < 200 \end{cases} \\ \mu_{\text{condition 4}} &= \begin{cases} \frac{x-200}{200-190}, & 190 < x < 200 \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

*i. Analisis Variabel Output*

Variabel Kondisi Minyak Isolasi dibagi menjadi 2 himpunan, diantaranya normal dan perbaikan. Kedua himpunan ini membentuk kurva segitiga dengan detail pada Gambar 10.



Gambar 10. Membership Function Output Kondisi Trafo

Fungsi keanggotaan untuk variabel kondisi minyak isolasi trafo menggunakan range 0 hingga 50. Untuk keanggotaan normal memiliki domain [0 0 25], perbaikan memiliki domain [20 50 50]. Bentuk perhitungan secara manual pada persamaan 10.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{normal}} &= \begin{cases} \frac{20-x}{20-0}, & 0 < x < 25 \end{cases} \\ \mu_{\text{perbaikan}} &= \begin{cases} \frac{x-50}{50-20}, & 50 < x < 20 \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

Setelah dilakukan pengelompokan himpunan fuzzy, selanjutnya dilakukan penyusunan aturan sebagai berikut:

- [R1] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 1 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R2] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 1 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 2 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R3] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 1 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 2 and Karbon monoksida is Condition 3 and Karbon dioksida is Condition 3 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*

- [R4] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 1 and Metana is Condition 3 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R5] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 2 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R6] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 3 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R7] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 3 and Metana is Condition 2 and Hidrogen is Condition 3 and Asetilena is Condition 4 and Karbon monoksida is Condition 2 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R8] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 3 and Metana is Condition 2 and Hidrogen is Condition 4 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 2 and Karbon dioksida is Condition 3 and Etilena is Condition 3 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R9] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 4 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R10] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 4 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 2 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Normal.*
- [R11] *If TDCG is Condition 1 and Etana is Condition 4 and Metana is Condition 2 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R12] *If TDCG is Condition 2 and Etana is Condition 1 and Metana is Condition 2 and Hidrogen is Condition 1 and Asetilena is Condition 4 and Karbon monoksida is Condition 1 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R13] *If TDCG is Condition 2 and Etana is Condition 2 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 2 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 2 and Karbon dioksida is Condition 2 and Etilena is Condition 1 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*
- [R14] *If TDCG is Condition 2 and Etana is Condition 3 and Metana is Condition 3 and Hidrogen is Condition 3 and Asetilena is Condition 1 and Karbon monoksida is Condition 3 and Karbon dioksida is Condition 2 and Etilena is Condition 3 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*

[R15] *If TDCG is Condition 2 and Etana is Condition 4 and Metana is Condition 1 and Hidrogen is Condition 2 and Asetilena is Condition 3 and Karbon monoksida is Condition 4 and Karbon dioksida is Condition 1 and Etilena is Condition 3 then Kondisi Trafo is Perbaikan.*

Berdasarkan aturan yang telah ditulis di atas, maka proses defuzzifikasi untuk hasil uji trafo 1 tahun 2023 adalah:

$$[R1] \alpha\text{-predikat 1} = \min(0.14; 0; 0; 0.84; 1; 0.64; 0.17; 0.25) = 0$$

$$[R2] \alpha\text{-predikat 2} = \min(0.14; 0; 0; 0.84; 1; 0; 0.17; 0.25) = 0$$

$$[R3] \alpha\text{-predikat 3} = \min(0.14; 0; 0; 0.84; 0; 0; 0; 0.25) = 0$$

$$[R4] \alpha\text{-predikat 4} = \min(0.14; 0; 0; 0.84; 1; 0.64; 0.17; 0.25) = 0$$

$$[R5] \alpha\text{-predikat 5} = \min(0.14; 0; 0; 0.84; 1; 0.64; 0.17; 0.25) = 0$$

⋮  
⋮

$$[R11] \alpha\text{-predikat 11} = \min(0.14; 0.73; 0.27; 0.84; 1; 0.64; 0.17; 0.25) = 0.14$$

$$[R12] \alpha\text{-predikat 14} = \min(0.14; 0; 0.27; 0.84; 0; 0.64; 0.17; 0.25) = 0$$

$$[R13] \alpha\text{-predikat 13} = \min(0.02; 0; 0; 0; 1; 0; 0; 0.25) = 0$$

$$[R14] \alpha\text{-predikat 14} = \min(0.02; 0; 0; 0; 1; 0; 0; 0) = 0$$

$$[R15] \alpha\text{-predikat 15} = \min(0.02; 0.73; 1; 0; 0; 0; 0.17; 0) = 0$$

$$\mu(z) = \begin{cases} \frac{z-20}{50-20}, & 20 \leq x \leq 24.2 \\ 0.14, & 24.2 \leq x \leq 50 \end{cases}$$

$$M_1 = \int_{20}^{24.2} \frac{z-20}{50-20} z dz = 6.7 \quad A_1 = \int_{20}^{24.2} \frac{z-20}{50-20} dz = 0.29 \quad (10)$$

$$M_2 = \int_{24.2}^{50} 0.14 z dz = 134 \quad A_2 = \int_{24.2}^{50} 0.14 dz = 3.6$$

$$Z^* = \frac{M_1+M_2}{A_1+A_2} = \frac{6.7+134}{0.29+3.6} = 36.17$$

Hasil perhitungan pada langkah defuzzifikasi menunjukkan Z bernilai 36.17, sehingga menunjukkan bahwa kondisi minyak isolasi trafo 1 pada tahun 2023 berada pada daerah perbaikan, sehingga perlu dilakukan penggantian minyak isolasi transformator.

Tabel 5. Perbandingan Hasil Perhitungan menggunakan Aplikasi

Pengujian	Metode Sugeno	Metode Mamdani
Transformator 1	50	36.17
Transformator 2	25	12.18
Transformator 3	25	11.58

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan sebelumnya, maka kesimpulan yang dapat diambil diantaranya *Fuzzy logic* dapat digunakan sebagai metode untuk mengetahui kondisi minyak isolasi transformator berdasarkan hasil uji DGA. Penggunaan fuzzy logic sugeno lebih efektif dibandingkan dengan fuzzy logic mamdani karena dapat menentukan hasil dengan lebih jelas, sehingga dapat diketahui secara lebih jelas bagaimana kondisi minyak isolasi transformator. Kondisi transformator 1 berada pada kondisi perbaikan, sehingga perlu dilakukan penggantian minyak isolasi transformator. Sedangkan untuk transformator 2, dan transformator 3 berada dalam kondisi normal berdasarkan perhitungan manual, sehingga masih dapat beroperasi dengan normal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini, serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasikannya penelitian ini. sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Ali, A. H. Abu Bakar, A. Omar, A. S. Abdul Jaafar, and S. H. Mohamed, "Conventional methods of dissolved gas analysis using oil-immersed power transformer for fault diagnosis: A review," *Electric Power Systems Research*, vol. 216, p. 109064, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.epsr.2022.109064.
- [2] S. Shidiq, A. Sujatmiko, and A. H. Paronda, "Penguji Dissolved Gas Analysis (DGA) Pada Trafo Tenaga 150/20kv 60mva Di Gardu Induk Tambun," *JREC Journal of Electrical and Electronics*, vol. 7, no. 1, pp. 43–52.
- [3] Ha'imza, Amirullah, and B. Plangklang, "Development of nominal rules on the Fuzzy Sugeno method to determine the quality of power transformer insulation oil using Dissolved Gas Analysis data," *Sinergi (Indonesia)*, vol. 27, no. 1, pp. 31–44, 2023, doi: 10.22441/sinergi.2023.1.005.
- [4] S. Y. Petrova, "Practical experience condition diagnosis gained from oilimmersed power transformers voltage class 10 kV," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Nov. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/2052/1/012033.
- [5] Y. Siregar and T. J. Hartanto Lumbanraja, "Analysis of interference methods on transformers based on the results of dissolved gas analysis tests," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, no. 4, pp. 3672–3685, Aug. 2023, doi: 10.11591/ijece.v13i4.pp3672-3685.
- [6] R. Anni, Asran, and Kartika, "Analisis Keadaan Minyak Transformator Menggunakan Metode Logika Fuzzy Berdasarkan Kadar Gas Terlarut," vol. 06, no. 02, pp. 16200–16207, 2022.
- [7] Y. P. Sinuhaji, "Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo," Jan. 2014.
- [8] D. Amri, "Analisis Dissolved Gas Analysis terhadap Kinerja Transformator 30 MVA Gardu Induk Betung Menggunakan Metode Fuzzy," vol. 03, no. 01, pp. 59–64, Mar. 2012.
- [9] M. Tohari *et al.*, "Analisis Kondisi Transformator Daya 20kv/150kv Dengan Metode Uji Dissolved Gas Analysis (DGA) DI PT.PJB PLTU Rembang," *Konferensi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) 4*, Oct. 2020.
- [10] M. Sismantara, W. Ariastina, and A. Amrita, "Penentuan Kondisi Transformator Berdasarkan Kandungan Gas Terlarut Menggunakan Metode Segitiga Duval," *SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 107, Mar. 2021.
- [11] P. Prayitno, U. S. Serang, and B. Corresponding, "Diagnosis Minyak Isolasi pada Trafo dengan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA)," *Asian Journal of Mechatronics, and Electrical Engineering (AJMEE)*, vol. 1, no. 1, pp. 47–52, 2022, doi: 10.55927.

- [12] H. M. Hastunggoro, "Aplikasi Diagnosis Kegagalan Trafo Berbasis Kandungan Gas Terlarut Dengan Menggunakan Metode Total Dissolved Combustible Gases Dan Fuzzy Sugeno Berbasis Desktop," Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2023. Accessed: Aug. 06, 2023. [Online]. Available: <https://etd.umm.ac.id/id/eprint/253>
- [13] M. Sismantara, W. Ariastina, and A. Amrita, "Penentuan Kondisi Transformator Berdasarkan Kandungan Gas Terlarut Menggunakan Metode Segitiga Duval," 2021.
- [14] D. K. Widyawati and A. Ambarwari, "Fuzzy Logic Design to Control the Duration of Irrigation Time in the Greenhouse," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1755-1315/1012/1/012086.
- [15] D. Fuzzy, S. Untuk, P. Kualitas, C. Beton, and I. Supina Batubara, "Analisis Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani," *Journal Research and Development*, vol. 2, no. 1, 2017.
- [16] T. Committee of the IEEE Power and E. Society, "IEEE Std C57.104™-2008 (Revision of IEEE Std C57.104-1991), IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers," 2009.