

## **ANALISIS KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC BERDASARKAN DATA DISSOLVED GAS ANALYSIS (DGA)**

**Dadang Catur Mardiyanto**

Progam Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : dadangcaturm@gmail.com

**Joko**

Dosen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya, Ketintang 60231, Indonesia  
e-mail : joko@unesa.ac.id.

### **Abstrak**

*Dissolved gas analysis (DGA)* adalah analisis gas terlarut minyak isolasi transformator merupakan salah satu cara yang paling efektif dalam memantau/perawatan kondisi suatu transformator. Dengan mengidentifikasi jumlah konsentrasi gas yang terlarut pada minyak isolasi transformator dapat memberikan informasi adanya indikasi kegagalan yang terjadi pada transformator. Teknik analisis data data kandungan gas yang terlarut pada minyak isolasi pada penelitian ini dikembangkan menggunakan logika *fuzzy*, Dengan harapan dapat mencegah kegagalan pada transformator. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah simulasi. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk Gardu Induk Kenjeran transformator 2 berada pada kondisi 2 menandakan bahwa komposisi gas sudah melebihi batas normal, Gardu Induk Perak transformator 1 berada pada kondisi 1 menandakan bahwa komposisi gas berada pada level normal mengindikasikan bahwa transformator memuaskan, Gardu Induk Rungkut transformator 1 berada pada kondisi 1 menandakan bahwa komposisi gas berada pada level normal mengindikasikan bahwa transformator memuaskan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk melakukan evaluasi pada PT.PLN.

**Kata Kunci** : *DGA*, minyak isolasi transformator, logika *fuzzy*.

### **Abstract**

Dissolved gas analysis (DGA) is an analysis of the condition of the transformer based on the amount of dissolved gas in the transformer oil. By identifying the amount of gas concentration dissolved in the insulating oil the transformer can provide information that there is an indication of the failure that occurred in the transformer. Data analysis techniques data on gas content dissolved in insulating oil in this study were developed using fuzzy logic, hoping to prevent failure in the transformer. The research approach used is simulation. From the results of the study it can be concluded that for the substation, the kenjeran transformer 2 is in condition 2 indicating that the gas composition has exceeded the normal limit, the Perak Transformer 1 substation in condition 1 indicates that the gas composition at the normal level indicates that the transformer is satisfactory, the Rungkut substation transformer 1 in condition 1 indicates that the gas composition at the normal level indicates that the transformer is satisfactory. It is expected that the results of this study can be used to evaluate PT.PLN.

**Keywords**: *DGA*, oil insulation transformer, fuzzy logic.

### **PENDAHULUAN**

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandingan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, di mana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sekunder

berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan arusnya (Amri, 2012).

Salah satu penyebab utama munculnya kegagalan pada transformator adalah adanya panas berlebih. Panas berlebih biasanya ditimbulkan oleh berbagai faktor seperti pembebanan berlebih, rugi histerisis, arus *eddy*, adanya proses oksidasi yang menghasilkan karat, air, dan lain-lain. Oleh karena itu transformator memerlukan sistem pendingin untuk mengontrol panas yang timbul.

Panas yang berlebih akan memacu reaksi berantai yang akan mempercepat penurunan usia dan kuantitas kerja sistem isolasi baik pada minyak isolator maupun isolator kertas, menurunnya efektifitas kerja sistem pendingin, sehingga nantinya akan membuat transformator mengalami kerusakan.

Transformator daya memerlukan berbagai macam pengujian isolator baik pengujian isolator padat maupun pengujian isolator minyak. Pengujian fisik dilakukan dengan menguji karakteristik minyak isolator. Seiring perkembangan teknologi ditemukan metode *alternatif* untuk melakukan pengujian minyak, yaitu dengan metode pengujian dan analisis jumlah gas yang terlarut pada minyak transformator atau yang dikenal dengan dengan metode *Dissolved Gas Analysis* (Pranata, 2012).

Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan keadaan minyak isolasi pada transformator daya, Untuk teknik analisis data kandungan gas yang terlarut pada minyak isolasi pada penelitian ini dikembangkan menggunakan logika *fuzzy*. Sedangkan manfaat penelitian ini adalah untuk memudahkan dalam melakukan suatu perawatan atau *maintenance* pada transformator daya.

## KAJIAN PUSTAKA

### Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan magnet elektrik yang sederhana, andal, dan efisien untuk mengubah menyalurkan tegangan dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu

Transformator juga dikatakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkain listrik lainnya melalui gandingan magnet.

### Prinsip Kerja Transformator

Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum-hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/ *flux* medan magnet dapat membangkitkan medan induksi (PT.PLN, 2014) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Prinsip hukum elektromagnetik yaitu ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan arus bolak balik ( $V_p$ ) maka akan mengalir arus pada kumparan primer ( $I_p$ ). Perubahan arus ( $I_p$ ) pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah berupa fluks magnet ( $\Phi$ ).

oleh adanya inti besi sehingga dihantarkan ke kumparan sekunder, fluks magnet ( $\Phi$ ) tersebut akan

memotong kumparan primer ( $N_p$ ) dan sekunder ( $N_s$ ) sehingga pada ujung-ujung kumparan primer dan sekunder akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) primer ( $E_p$ ) dan sekunder ( $E_s$ ) (Tobing, 2012).

### Minyak Transformator

Minyak Transformator adalah bahan isolasi yang tersebar volumenya dibandingkan dengan bahan isolasi lainnya. Di samping sebagai isolasi, minyak juga berperan sebagai media pendingin. Oleh karena proses penuaan, pengotoran dan reaksi kimia yang terjadi pada minyak, maka komposisi minyak dapat berubah sehingga kekuatan dielektriknya berubah.

Bahan isolasi pada peralatan tegangan tinggi terdiri dari bahan isolasi padat, gas, dan cair, dimana bahan-bahan isolasi ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara.

Minyak isolasi terdiri dari beberapa jenis, baik dari segi pembuatannya maupun jenis bahannya: 1) Minyak isolasi Mineral adalah minyak yang berbasah dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak *diesel* dan *turbin* yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Minyak isolasi hasil distilasi tersebut masih harus dimodifikasi agar tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya baik, serta memenuhi syarat-syarat teknis lainnya. Selain pada transformator daya minyak isolasi bahan mineral ini banyak digunakan pada pemutus tenaga (CB), dan kapasitor, dimana selain berfungsi sebagai bahan dielektrik dan sebagai pendingin (penyerap panas) (Pranata, 2012). 2) Minyak Isolasi Sintesis adalah minyak jenis ini mempunyai sifat lebih menguntungkan antara lain tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi. Namun beracun dan dapat melukai kulit manusia. Penggunaan minyak isolasi mineral masih mengalami keterbatasan, karena sifatnya yang mudah beroksidasi dengan udara, mengalami pemburukan yang cepat dan sifat kimia dapat berubah akibat kenaikan temperatur yang terjadi akibat pemataman busur api atau saat peralatan beroperasi (Pranata, 2012).

Minyak isolasi sintesis adalah minyak isolasi yang diolah dengan proses kimia yang tepat untuk mendapatkan karakteristik yang bila dibandingkan dengan minyak isolasi bahan mineral.

### Total Dissolved Combustible Gas (TDGC)

Metode *TDGC* merupakan gas yang mudah terbakar antara lain hidrogen, metana, etilena, etana, dan asetilena. Jumlah konsentrasi masing-masing gas yang mudah terbakar tersebut dijumlah, dan jumlah total dari gas ini digunakan untuk mengetahui kondisi transformator (Yulisusianto, 2014) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Gangguan Dengan Metode TDCG

Level	Konsentrasi part per million (ppm)	Keterangan
1	<=720	Indikasi bahwa operasi transformator normal
2	721-1920	Indikasi komposisi gas mulai tinggi, ada kemungkinan timbul kegagalan. Lakukan pencegahan agar gejala tidak berlanjut
3	1921-4630	indikasi dekomposisi tingkat tinggi dari isolasi. Kegagalan mungkin sudah terjadi. Lakukan pencegahan agar gangguan tidak berlanjut.
4	>4630	indikasi pemburukan yang sangat tinggi dan adanya dekomposisi atau kerusakan pada isolator sudah meluas. Akan segera terjadi kerusakan transformator. Segera lakukan tindakan perbaikan

(Sumber: Yuliusianto, 2014)

### Dissolved Gas Analysis

Transformator sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, pemicunya dapat berasal dari internal maupun *external* transformator. Ketidaknormalan ini akan menimbulkan dampak terhadap kinerja transformator. Secara umum, dampak/akibat ini dapat berupa *overheat*, *corona* dan *arcing* (PT.PLN, 2014).

Salah satu metode untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak Ketidaknormalan pada transformator digunakan metode DGA.

*Dissolved gas analysis* (DGA) adalah proses untuk menghitung kadar dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan minyak isolasi menggunakan alat uji DGA. Dari komposisi kadar/nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam transformator, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona* (Magiya, 2007).

Gas keluaran yang akan dideteksi pada pengujian DGA dengan skema *Chromatography* ada sembilan gas seperti Hidrogen, Metana, Karbon Monoksida, Karbondioksida, Etilena, Ethana, Asetilena, Nitrogen, *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) setelah mendapatkan hasil dari uji DGA kemudian akan di sesuaikan dan dianalisa berdasarkan konsentasi tiap-tiap gas yang dihasilkan DGA, untuk standar nilai dari kandungan gas dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar Nilai Minyak Isolasi Dengan Kandungan Gas

No	Kandungan gas	Normal	Abnormal
1	Hidrogen H <sub>2</sub>	< 100 ppm	< 1800 ppm
2	Metana CH <sub>4</sub>	< 120 ppm	>1000 ppm
3	Karbon Monoksida CO	< 65 ppm	>150 ppm
4	Karbondioksida CO <sub>2</sub>	< 50 ppm	>200 ppm
5	Etilena C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	< 35 ppm	>80 ppm
6	Ethana C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	< 350 ppm	>1400 ppm
7	Asetilena C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	< 2500 ppm	>10000 ppm
8	Nitrogen N <sub>2</sub>	< 1.5jt ppm	>2.5jt ppm
9	TDCG	< 720 ppm	>4630 ppm

(Sumber : IEEE, 2008)

### Fuzzy Logic

*Fuzzy logic* adalah sebuah metodologi “berhitung” dengan variabel kata-kata (*linguistic variable*), sebagai pengganti berhitung dengan bilangan. Kata-kata yang digunakan dalam *fuzzy logic* memang tidak sepresisi bilangan, namun kata-kata jauh lebih dekat dengan intuisi manusia. Manusia dapat langsung “merasakan” nilai dari variabel kata-kata yang sudah dipakainya sehari-hari. *Fuzzy logic* memberi ruang dan bahkan mengeksploitasi toleransi terhadap ketidak presisian (Naba, 2009).

*Fuzzy logic* membutuhkan “ongkos” yang lebih murah dalam memecahkan berbagai masalah yang bersifat *fuzzy* : 1) *Fuzzifikasi* merupakan *fuzzy inference system* (FIS) mengambil masukan-masukan dan menentukan derajat keanggotannya dalam semua *fuzzy set* menggunakan fungsi keanggotaan masing-masing *fuzzy set*. 2) *Membership function* mendefinisikan bagaimana tiap titik dalam ruang input dipetakan menjadi bobot atau derajat keanggotaan antara 0 dan 1. 3) *IF-THEN rule* adalah *fuzzy logic* bekerja berdasar aturan-aturan yang dinyatakan dalam bentuk pernyataan IF-THEN. Secara umum IF-THEN rule dapat dianggap sebagaisebuah sistem yang memerlukan *input* dan menghasilkan *output*. 4) Defuzzifikasi adalah metode yang digunakan untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan sebuah sistem *fuzzy* yang telah dibangun sebelumnya untuk menyelesaikan permasalahan kondisi minyak transformator (Naba, 2009).

## METODE PENELITIAN

### Pendekatan Penelitian

Jenis penelitian ini adalah eksperimen (simulasi). Sesuai dengan bentuknya, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengkajian terhadap data-data teknis yang terjadi pada transformator daya, yakni menganalisis keadaan minyak isolasi transformator menggunakan fuzzy logic.

Penelitian diawali dengan mengkaji teori-teori relevan, berdasarkan fenomena nyata sehingga muncul sebab permasalahan. Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif yaitu penelitian yang melakukan pengamatan pada objek untuk mengumpulkan data-data yang disajikan dengan angka-angka untuk keperluan dalam penelitian.

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data adalah metode yang digunakan untuk mengumpulkan data dalam suatu penelitian. Dalam penelitian ini penulis menggunakan tiga metode, sebagai berikut: 1) Metode wawancara yang dilakukan melalui tatap muka langsung dengan narasumber, selanjutnya 2) Metode observasi yaitu pengamatan dan pencatatan langsung secara sistematis terhadap data yang dibutuhkan untuk penelitian, 3) Studi literatur, sebelum mengerjakan penelitian ini, peneliti menelaah beberapa penelitian yang masih berhubungan.

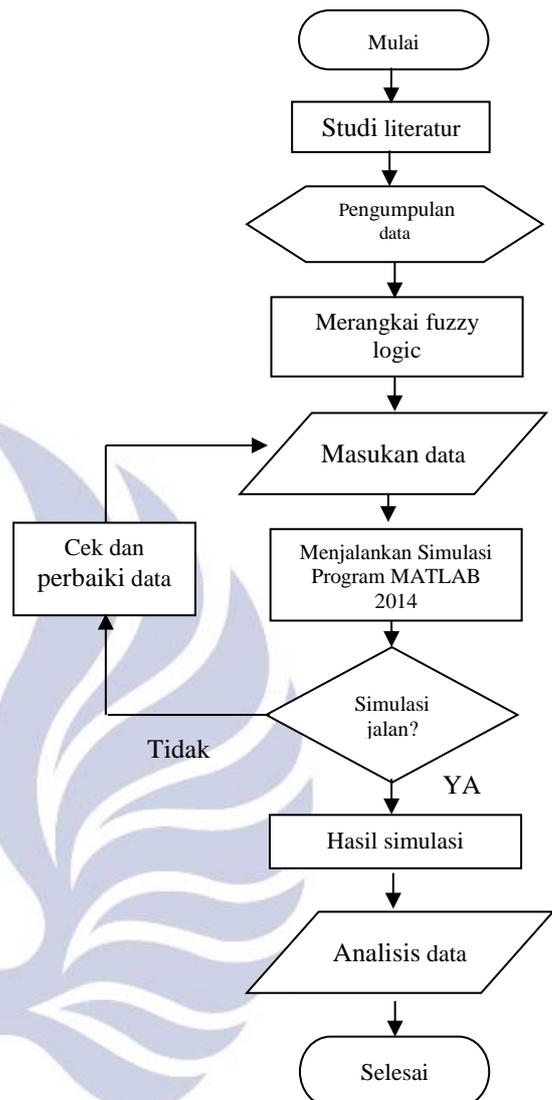
Pengajuan pertanyaan-pertanyaan penelitian yang jawabannya harus dicari menggunakan data yang relevan. Selanjutnya peneliti menetapkan informasi-informasi yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan yang telah dirumuskan. Sebagai bahan literatur peneliti mempelajari buku-buku manual dan jurnal-jurnal tentang minyak isolasi transformator daya.

### Waktu dan tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PLN (Persero) Area Pemeliharaan Pelaksana (APP) Surabaya, yang berlokasi di Jl. Ketintang Baru No. 9 Surabaya. Pada masa perkuliahan bulan April – September 2018.

### Langkah-Langkah Penelitian

Langkah penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tahapan mulai penelitian hingga selesai. Diagram alir pengerjaan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan Penelitian (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Rancangan penelitian yang telah dibuat sebelumnya, prosedur untuk tiap tahapan akan dipaparkan sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur dengan mempelajari beberapa jurnal dan *text book* tentang *fuzzy logic* dan minyak transformator serta referensi lain yang berkaitan dengan penelitian ini.
2. Melakukan survei untuk mencari data *Dissolved gas analysis* (DGA) pada transformator daya GI Surabaya.
3. Membuat pemodelan *fuzzy* menggunakan *software* MATLAB R2014a.
4. Melakukan *input* data berupa data 9 *dissolved gas analysis* (DGA)
5. Kondisi *output* dari *fuzzy* < 5000 part per million (ppm)

6. Jika “Ya” dapat dilanjutkan pada langkah mendapatkan hasil kondisi transformator daya.
7. Jika “Tidak” melakukan pengecekan *rule base* dan data yang telah dimasukkan.

**Teknik Analisis Data**

Analisis data pada penelitian ini menggunakan *software* MATLAB R2014a dengan mempelajari data dari berbagai sumber, yaitu wawancara, observasi, observasi dan studi literature yang sudah ditulis dalam catatan lapangan, dokumen pribadi dan sebagainya.

Setelah semua data terkumpul selanjutnya diolah menggunakan interpretasi data :

1. *Fuzzy logic*

*Fuzzy* secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samr-samar. Suatu nilai dapat bernilai besar atau salah secara bersamaan. Dalam *fuzzy* dikenal derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 hingga 1. Berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1/0 (ya/tidak).

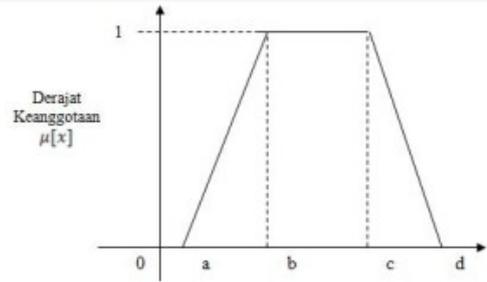
Logika *fuzzy* merupakan sesuatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (*fuzziness*) antara benar atau salah. Dalam teori logika *fuzzy* suatu nilai dapat bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan sesuatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya.

Dalam penelitian ini *fuzzy logic* digunakan untuk menganalisis data hasil uji DGA karena metode *fuzzy logic* merupakan metode yang cepat dan mudah dipahami dalam penyelesaian penelitian untuk menganalisis data tersebut.

**Desain Simulasi Fuzzy**

Langkah dalam perancangan kontroler *fuzzy* terdiri dari pembuatan *fuzzifikasi*, fungsi keanggotaan (*membership function*), *rule base*, dan *defuzzifikasi*. 1) *Fuzzifikasi* dalam skripsi ini menggunakan metode kurva trapesium, karena bentuk kurva trapesium fungsi keanggotaannya lebih akurat dengan batas-batas operasi yang aman kontaminasi gas yang ada dalam minyak isolasi pada transformator. Pada sistem ini, kurva trapesium digunakan untuk menggambarkan fungsi keanggotaan setiap gas karena kurva trapesium lebih mendekati batas operasi gas yang terkandung dalam minyak isolasi transformator (Magiya, 2007). 2) *Membership function* Untuk derajat keanggotaan setiap masukan gas disesuaikan dengan standar IEEE pada Tabel 2. Untuk derajat keanggotaan dengan konsentrasi gas berada di bawah keadaan normal dimasukkan kedalam derajat keanggotaan normal, untuk konsentrasi keadaan abnormal dimasukkan dalam derajat keanggotaan sangat tinggi sedangkan untuk derajat keanggotaan tinggi berada diantara keadaan normal dan abnormal (Pranata, 2012).

Untuk mendapatkan derajat keanggotaan setiap masukan gas pada skripsi ini menggunakan fungsi keanggotaan kurva tapresium dapat dilihat Gambar 2



Gambar 2 Kurva Trapesium (Sumber : Pranata, 2012)

Dari Gambar 2 maka derajat persamaan keanggotaan untuk kurva trapesium dapat diselesaikan dengan persamaan di bawah ini yaitu :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & , x \leq d \end{cases} \quad (1)$$

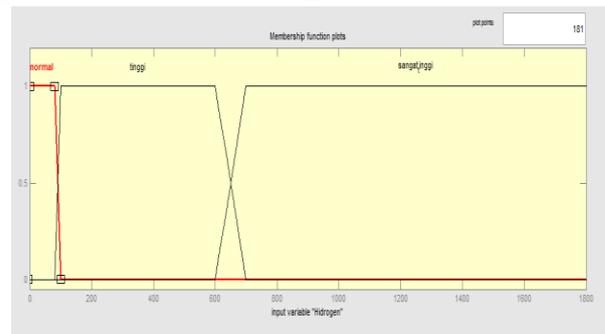
Keterangan :

- a: nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- b: nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- c: nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- d: nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- x: nilai input yang akan diubah ke dalam bilangan fuzzy

Dengan menggunakan persamaan tersebut dapat menentukan persamaan fungsi keanggotaan untuk kandungan gas, yaitu :

1) **Hidrogen**

Untuk derajat keanggotaan gas Hidrogen dibagi menjadi tiga variabel kategori yaitu : normal, tinggi, sangat tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3 Fungsi Keanggotaan Hidrogen pada MATLAB (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Dengan menggunakan persamaan 1 dapat dicari fungsi keanggotaan Hidrogen untuk ketiga variable yaitu:

a) Hidrogen normal

Derajat a dan b tidak diperhitungkan karena berada pada nilai negatif c=80 ppm; d=100 ppm, maka fungsi keanggotaan untuk Hidrogen normal adalah :

$$1) \mu(x) = 1 \quad b \leq x \leq c$$

$$\mu_{normal}(x) = 1 \quad 0 \leq x \leq 80 \quad (2)$$

$$2) \mu(x) = \frac{d-x}{d-c} \quad x \geq d$$

$$\mu_{normal}(x) = \frac{100-x}{100-80} \quad 80 \leq x \leq 100$$

$$\mu_{normal}(x) = 6-0,005x \quad 80 \leq x \leq 100 \quad (3)$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan Nitrogen normal adalah sebagai berikut :

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 80 \\ -0,005x + 6 & 80 \leq x \leq 100 \end{cases} \quad (4)$$

b) Hidrogen tinggi

Derajat a=80 ppm; b=100 ppm; c=600 ppm; dan d=700 ppm, maka fungsi keanggotaan dengan konsentrasi Hidrogen tinggi dapat diselesaikan dengan persamaan :

$$1) \mu(x) = \frac{x-a}{b-a} \quad a \leq x \leq b$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \frac{x-80}{100-80} \quad 80 \leq x \leq 100$$

$$\mu_{tinggi}(x) = -4+0,005x \quad 80 \leq x \leq 100 \quad (5)$$

$$2) \mu(x) = 1 \quad b \leq x \leq c$$

$$\mu_{tinggi}(x) = 1 \quad 100 \leq x \leq 600 \quad (6)$$

$$3) \mu(x) = \frac{d-x}{d-c} \quad x \leq d$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \frac{700-x}{700-600} \quad x \leq d$$

$$\mu_{tinggi}(x) = 7-0,001x \quad 600 \leq 700 \quad (7)$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan Nitrogen tinggi adalah sebagai berikut :

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0,05x - 4 & 80 \leq x \leq 100 \\ 1 & 100 \leq x \leq 600 \\ -0,001x + 7 & 600 \leq x \leq 700 \end{cases} \quad (8)$$

c) Hidrogen sangat tinggi

Derajat a=600 ppm; b=700 ppm; derajat c dan d tidak ditentukan karena >700 ppm sampai tak terhingga, maka fungsi keanggotaan dengan konsentrasi Hidrogen sangat tinggi diselesaikan dengan persamaan di bawah ini:

$$1) \mu(x) = \frac{x-a}{b-a} \quad a \leq x \leq b$$

$$\mu_{sangat\ tinggi}(x) = \frac{x-600}{700-600} \quad a \leq x \leq b$$

$$\mu_{sangat\ tinggi}(x) = 0,01x-6 \quad 600 \leq x \leq 700 \quad (9)$$

$$2) \mu(x) = 1 \quad b \leq x \leq c$$

$$\mu_{sangat\ tinggi}(x) = 1 \quad x \geq 700 \quad (10)$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan Hidrogen sangat tinggi sebagai berikut:

$$\mu_{sangat\ tinggi}(x) = \begin{cases} 0,01x - 6 & 600 \leq x \leq 700 \\ 1 & x \geq 700 \end{cases} \quad (11)$$

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Deskripsi Data**

1. Gardu Induk Wilayah Surabaya

Pada gardu induk wilayah Surabaya banyak penyulang menggunakan transformator daya yang digunakan untuk mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke arus dan tegangan pada frekuensi yang sama (PT.PLN, 2014).

Pada penelitian ini data berupa hasil *dissolved gas analysis* (DGA) yang akan dianalisis meliputi GI Kenjeran transformator 2, GI Perak transformator 1, GI Rungkut transformator 1 yang merupakan gardu induk wilayah Surabaya. Diuraikan data DGA transformator dideskripsikan sebagai berikut :

a. Gardu Induk Kenjeran Transformator 2

Data hasil pengujian DGA transformator 2 GI Kenjeran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data DGA GI Kenjeran Transformator 2

Tanggal uji	Kandungan Gas	
	Jenis Gas	Kandungan Part Per Million (ppm)
23/5/2017	Hidrogen	29,58
	Metana	856,29
	Karbon Monoksida	675,53
	Karbon Dioksida	3,781.61
	Etilena	186,45
	Etana	1,62
	Asetilena	0,00
	Nitrogen	96,49
	TDGC	1.749,47

(Sumber: PT.PLN, 2017)

Dari tabel di atas diketahui gas hidrogen berada pada batas normal, metana abnormal, karbon monoksida abnormal, karbon dioksida abnormal, etilena abnormal, etana normal, asetilena normal, nitrogen normal, TDCG abnormal sesuai dengan standar minyak isolasi pada Tabel 1.

b. Gardu Induk Perak Transformator 1

Data hasil pengujian DGA GI Perak transformator 1 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data DGA GI Perak Transformator 1

Tanggal uji	Kandungan Gas	
	Jenis Gas	Kandungan Part Per Million (ppm)
16/8/2017	Hidrogen	0,00
	Metana	856,29
	Karbon Monoksida	675,53
	Karbon Dioksida	10
	Etilena	186,45
	Etana	1,62
	Asetilena	0,00
	Nitrogen	0,00
	TDCG	250

(Sumber: PT.PLN, 2017)

Dari tabel di atas diketahui gas hidrogen berada pada batas normal, metana abnormal, karbon monoksida abnormal, karbon dioksida normal, etilena abnormal, etana normal, asetilena normal, nitrogen normal, TDCG normal sesuai dengan standar minyak isolasi pada Tabel 1.

c. Gardu Induk Rungkut Transformator 1

Data hasil pengujian DGA GI Rungkut transformator 1 akan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data DGA GI Rungkut Transformator 1

Tanggal uji	Kandungan Gas	
	Jenis Gas	Kandungan Part Per Million (ppm)
12/7/2017	Hidrogen	0,00
	Metana	88,03
	Karbon Monoksida	85,19
	Karbon Dioksida	663,79
	Etilena	1,64
	Etana	330,74
	Asetilena	0,00
	Nitrogen	45729
	TDCG	505,60

(Sumber : PT.PLN, 2017)

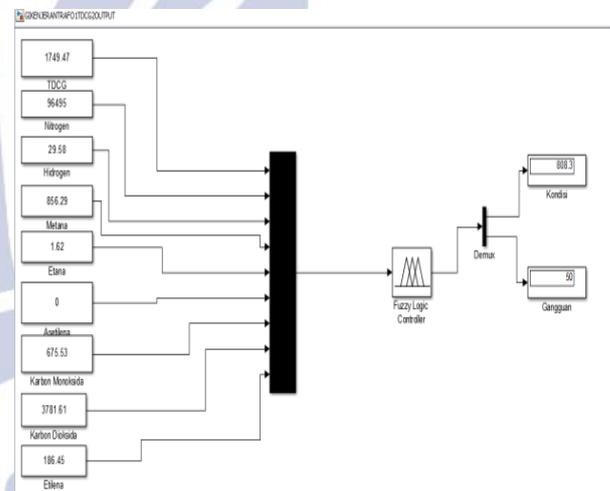
Dari tabel di atas diketahui gas hidrogen berada pada batas normal, metana normal, karbon monoksida abnormal, karbon dioksida abnormal, etilena normal, etana normal, asetilena normal, nitrogen normal, TDCG normal sesuai dengan standar minyak isolasi pada Tabel 1.

Hasil Simulasi Dan Pembahasan

Simulasi fuzzy pada penelitian ini berperan sebagai pengendali kecerdasan buatan. Input dari logika fuzzy berupa 9 kandungan gas terlarut (DGA) yaitu Nitrogen, Hidrogen, Metana, Etana, Asetilena, Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, Etilena. Sedangkan output berupa sebuah konstanta hasil defuzifikasi. Setelah dilakukan simulasi menggunakan fuzzy logic didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Gardu Induk Kenjeran Transformator 1

Setelah didapatkan data, selanjutnya dianalisis menggunakan fuzzy logic, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.



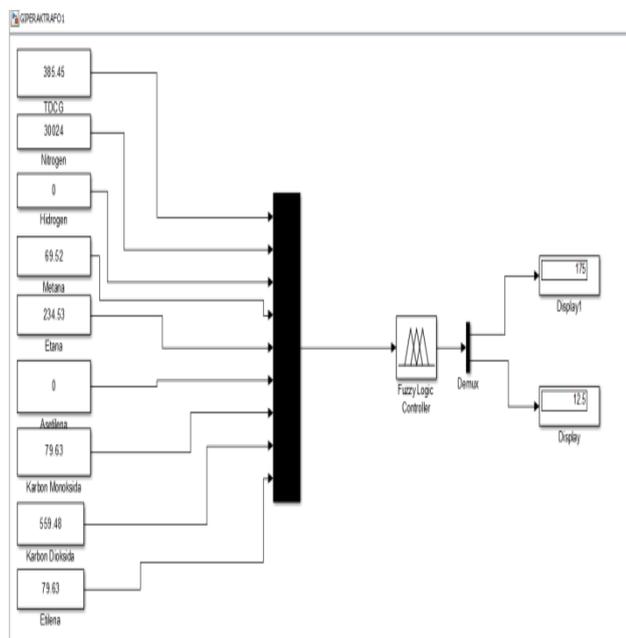
Gambar 4. Hasil Simulasi Hasil Simulasi GI Kenjeran Transformator 2 (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Untuk hasil dari keluaran simulasi gardu induk Kenjeran transformator 2, setelah memasukkan kesembilan gas hasil uji DGA didapatkan keluaran hasil derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi transformator 2 Kenjeran 808,3 ppm, nilai ini menunjukkan bahwa minyak isolasi transformator 2 kenjeran berada pada kondisi 2, kondisi ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal (standar IEEE, 2008) dapat dilihat pada Tabel 1, sehingga perlu pengecekan rutin untuk mencegah kegagalan transformator itu sendiri.

Hal ini juga dapat dilihat pada Tabel 3 dari hasil DGA menunjukkan beberapa konsentrasi gas gardu induk Kenjeran berada pada batas atas atau di atas batas normal.

### 2. Gardu Induk Perak Transformator 1

Setelah didapatkan data, Selanjutnya dianalisis menggunakan *fuzzy logic*, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil Simulasi GI Perak Transformator 1 (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Untuk hasil dari keluaran simulasi gardu induk Perak transformator 1 setelah memasukkan kesembilan gas hasil DGA didapatkan keluaran hasil derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi transformator 1 Perak adalah 7,5 ppm, nilai ini menunjukkan bahwa minyak isolasi transformator 1 Perak berada pada kondisi 1, pada level ini transformator beroperasi memuaskan atau normal (*Standar IEEE, 2008*) Tabel 1, sehingga tidak perlu dilakukan pengecekan rutin untuk mencegah kegagalan transformator itu sendiri,

Hal ini juga dapat dilihat dari hasil DGA gardu induk Perak menunjukkan konsentrasi gas berada pada keadaan normal sesuai pada Tabel 4.

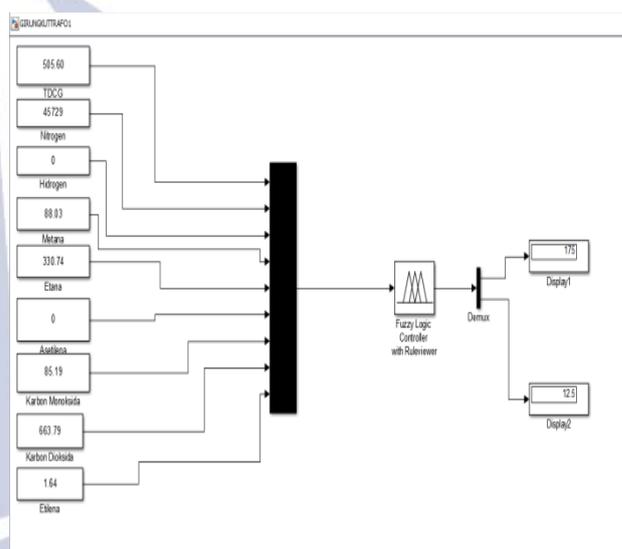
Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan PLN (APP Surabaya) pada Tabel 6 sendiri menunjukkan tranformator dapat dilakukan pengoperasian normal, hal ini sama ditunjukkan pada hasil simulasi menggunakan *fuzzy logic* yaitu dalam keadaan normal.

### 3. Gardu Induk Rungkut Transformator 1

Setelah didapatkan data, Selanjutnya dianalisis menggunakan *fuzzy logic*, dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6.

Untuk hasil dari keluaran simulasi gardu induk Rungkut transformator 1 setelah memasukkan kesembilan gas hasil DGA didapatkan, keluaran hasil derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi transformator 1 Perak adalah 175 ppm, nilai ini menunjukkan bahwa minyak isolasi transformator 1 Rungkut berada pada kondisi 1, pada level ini transformator beroperasi memuaskan atau normal (*Standar IEEE, 2008*) Tabel 1, sehingga tidak perlu dilakukan pengecekan rutin untuk mencegah kegagalan transformator.

Hal ini juga dapat dilihat dari hasil DGA gardu induk Rungkut menunjukkan konsentrasi gas berada pada keadaan normal dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 6. Hasil Simulasi GI Rungkut Transformator 1 (Sumber : Data Penelitian, 2018)

Dari hasil simulasi ketiga gardu induk yang telah dianalisis maka dapat kita lihat hubungan antara hasil simulasi keadaan minyak isolasi menggunakan *fuzzy logic* berdasarkan data DGA dengan hasil yang telah dilakukan PLN seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan Hasil Menggunakan Fuzzy Logic Dengan Analisis PLN

No	Gardu Induk	Analisis PLN			Fuzzy Logic
		Action Based TDCG	Analisa Ratio CO2/CO	Analisa doernenburg	
1	GI Kenjeran	Diperlukan batasan pembebanan yang diijinkan pada transformator	Diperlukan batasan pembebanan yang diijinkan pada transformator	Thermal oil	Kondisi 2
2	GI Perak	Pengoperasian normal	Normal	NO fault	Kondisi 1
3	GI Rungkut	Pengoperasian normal	-	No fault	Kondisi 1

(Sumber: Data Penelitian, 2018)

Berdasarkan Tabel 6 didapatkan 3 perbandingan sebagai berikut :

- 1) Perbandingan dengan action based TDCG nilai akurasi simulasi didapatkan melalui :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\text{Jumlah hasil simulasi yang benar}}{\text{Total simulasi}} \times 100\% \quad (12) \\ &= \frac{3}{3} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas nilai akurasi perbandingan *fuzzy logic* dengan action based TDCG didapatkan nilai 100%.

- 2) Perbandingan dengan Analisa CO<sub>2</sub>/CO nilai akurasi simulasi didapatkan dari persamaan 12 yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{2}{2} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas nilai akurasi perbandingan fuzzy logic dengan Analisa CO<sub>2</sub>/CO didapatkan nilai 100%.

- 3) Perbandingan dengan Doernenburg nilai akurasi simulasi didapatkan dari persamaan 12 yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{3}{3} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas nilai akurasi perbandingan *fuzzy logic* dengan Doernenburg didapatkan nilai 100%.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan gardu induk Kenjeran transformator 2 yang berada pada kondisi 2 dengan nilai 808,3 bahwa rata-rata kandungan gas terlarut abnormal atau berada di atas batas normal, juga dari hasil analisis gardu induk Perak transformator 1 yang berada pada kondisi 1 dengan nilai 175 bahwa rata-rata kandungan gas terlarut normal atau berada pada batas normal dan untuk hasil analisis gardu induk Rungkut transformator 1 yang berada pada kondisi 1 dengan nilai 175 bahwa rata-rata kandungan gas terlarut normal atau berada pada batas normal.

Setelah dilakukan simulasi dari ketiga gardu induk dengan menggunakan *fuzzy logic* didapatkan tingkat keakurasian mencapai nilai 100% ketika dibandingkan dengan hasil yang dilakukan PLN seperti ditunjukkan pada Tabel 6.

### Saran

. Pada hasil penelitian ini dapat dipergunakan untuk melakukan evaluasi pada PT. PLN (Persero) Area Pemeliharaan Pelaksana (APP) Surabaya saat dilakukan *maintenance*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amri, Djulil. 2012. *Analisis Dissolved Gas Analysis terhadap Kinerja Transformator 30 MVA Gardu Induk Betung Menggunakan Metode Fuzzy*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Sriwijaya.
- IEEE Power & Energy Society. 2008. *IEEE Guide For the Interpretation Of Gases. Generated in Oil-Immersed Transformer*. Revision of IEEE Std C57.104-1991. New York.
- Magiya, Sizwe Dhlimini. 2007. *Transformator Diagnosis Using Artificial Intelilligent and Dissolved Gas Analysis*. Jurnal IEEE.
- Naba, Agus. 2009. *Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan MATLAB*, Jakarta : ANDI.
- Pranata Sinuhaji, Yustinus. 2012. *Analisis Keadaan Minyak Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode DGA (Dissolved Gas Analysis) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Jember.
- PT.PLN (Persero). 2014. *Buku Pedoman Pmeliharaan Trnsformator Tenaga*, Jakarta.
- Tim Penyusun skripsi. 2014. *Buku Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Tobing, Bonggas L, 2012. *Dasar-dasar Pengujian Tegangan Tinggi*. Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga.
- Yulisusianto, Gatut. 2014. *Diagnosis Kondisi Transformator Berbasis Analisis Gas Terlarut Menggunakan Metode Sistem Pakar Fuzzy*. Jurnal Teknik Elektro, Universitas Brawijaya.