

# Diagnosis Kondisi Transformator Berbasis Analisis Gas Terlarut Menggunakan Metode Sistem Pakar Fuzzy

Gatut Yulisusianto, Hadi Suyono, Rini Nurhasanah

*Abstract--Dissolved gas analysis of transformer oil is one of the most effective ways to determine the transformer condition. Currently, there are many interpretation techniques that have been used in data processing of dissolved gas analysis results. However, all of the techniques used are rely based on the experience of experts who have conducted research by using the results of dissolved gas analysis. The combination of expert system and fuzzy to diagnose the dissolved gas analysis data to identify the condition of the transformer is discussed in this paper. The data used for this research is collected from several different transformers and then interpreted by using a standard methods and fuzzy expert systems, and the results are compared. From several experiments show that fuzzy expert system is more effective to identify a transformer failure.*

*Keyword--DGA, Dissolved Gas Analysis, Fuzzy Expert System, TDCG.*

**Abstrak**—Analisis gas terlarut dari minyak transformator adalah salah satu cara yang paling efektif dalam memantau kondisi transformator. Saat ini telah banyak teknik interpretasi yang digunakan dalam mengolah data hasil analisis gas terlarut. Namun, semua teknik yang digunakan lebih mengandalkan pengalaman para pakar yang telah melakukan riset menggunakan hasil analisis gas terlarut ini. Penggabungan sistem pakar dan fuzzy dalam mendiagnosis data analisis gas terlarut untuk mengidentifikasi kondisi transformator dibahas pada makalah ini. Data analisis gas terlarut diperoleh dari beberapa transformator yang berbeda kemudian diinterpretasi dengan menggunakan cara biasa dan sistem pakar fuzzy, dan kemudian hasilnya dibandingkan. Dari beberapa percobaan yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem pakar fuzzy lebih efektif dalam menemukan indikasi kegagalan transformator.

**Kata Kunci**—Analisis Gas Terlarut, DGA, Sistem Pakar Fuzzy, TDCG.

## I. PENDAHULUAN

TENAGA listrik merupakan kebutuhan pokok dalam menunjang semua kegiatan masyarakat. Dalam

Gatut Yulisusianto, mahasiswa Program Magister Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia dan dosen di Politeknik TNI AD (e-mail: [mr.gatut@gmail.com](mailto:mr.gatut@gmail.com)).

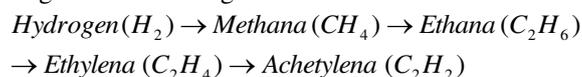
Hadi Suyono, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp.0341-554166; e-mail: [hadis@ub.ac.id](mailto:hadis@ub.ac.id)).

Rini Nurhasanah, dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Telp. 0341-554166; e-mail: [rini.hasanah@ub.ac.id](mailto:rini.hasanah@ub.ac.id))

menyalurkan tenaga listrik diperlukan transformator daya untuk mengubah listrik tegangan tinggi ke listrik tegangan rendah yang siap digunakan oleh konsumen. Kegagalan operasi transformator adalah merupakan hal yang buruk bagi masyarakat pengguna listrik, karena akan mengganggu kegiatan mereka, bahkan banyak perusahaan yang dirugikan karena mereka tidak dapat beroperasi. Oleh karena itu transformator daya perlu dirawat dan dijaga kehandalannya, agar dapat tetap beroperasi dengan baik.

Untuk menjaga kehandalan transformator daya diperlukan suatu pengujian terhadap transformator tersebut. Salah satunya adalah pengujian kandungan gas, warna dan keasaman minyak transformator. Setelah dilakukan pengujian maka akan dilakukan interpretasi data untuk mengetahui keadaan dari transformer tersebut. Pada keadaan beroperasi, minyak transformator menghasilkan senyawa-senyawa gas sebagai hasil dari proses penuaan dan dampak dari gangguan atau ketidaknormalan operasi transformator.

Gas pada minyak transformator tidak dapat dideteksi secara langsung karena terbentuknya gas memerlukan waktu yang cukup lama dengan temperatur diatas 140<sup>0</sup>C [1]. Jenis gangguan berupa gangguan elektrik karena corona, sparking dan arcing serta gangguan thermal (panas dengan temperatur <300<sup>0</sup>C, panas dengan temperatur 300<sup>0</sup>C – 700<sup>0</sup>C, dan panas dengan temperatur >700<sup>0</sup>C. Gas yang dihasilkan akibat peningkatan suhu mengikuti urutan :



Gangguan-gangguan ini dapat membuat kinerja transformator menjadi tidak optimal dan mengakibatkan cepatnya penurunan efektivitas kerja pada sistem pendingin, umur dan sistem isolasi transformator, sehingga gas dapat digunakan sebagai salah satu indikator kondisi transformator.

## II. METODOLOGI

Analisis gas terlarut atau *Dissolved Gas Analysis* (DGA) adalah analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak transformator, dengan cara mengekstrak gas-gas tersebut dari suatu sampel minyak yang diambil dari transformator. Gas yang diekstrak lalu dipisahkan menurut individual gasnya dan dihitung jumlahnya

dalam satuan ppm (*part permillion*). Dari hasil uji DGA ini dapat diketahui secara dini, mengenai kegagalan pada transformator yang mungkin timbul.

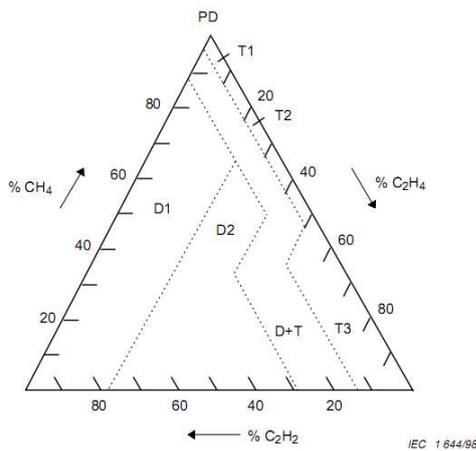
Ada beberapa standar uji DGA yang telah ditetapkan oleh IEEE antara lain adalah *Duval's Triangle*, *Total Dissolved Combustible Gases (TCG)*, *Key Gas*, *Roger's Ratio*, *Doernenburg Ratio*, dan *IEC Ratio*.

A. Metode Duval's Triangle

Segitiga Duval memaparkan analisis tentang konsentrasi gas yang terkandung dan ditentukan oleh tiga jenis gas yaitu CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, dan C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> [2]. Titik area ditentukan dari nilai prosentase salah satu gas dibandingkan dengan jumlah ketiga gas tersebut, kemudian ditarik garis ke satu titik di tengah area segitiga, sehingga di titik tersebutlah hasil diagnosis kegagalan dari transformator. Metode Duval diciptakan untuk membantu metode-metode analisis yang lain. Pada Tabel I menjelaskan jenis gangguan dari hasil analisa gas dengan metode segitiga duval, dan pada Gambar 1 adalah hasil analisa yang dilakukan.

TABEL I  
KARAKTERISTIK GANGGUAN DENGAN METODE DUVAL

No	Region	Diagnosis
1	PD	Partial discharge
2	D1	Low-range thermal fault (below 300°C)
3	D2	Medium-range thermal fault (300-700°C)
4	T1	High-range thermal fault (above 700°C)
5	T2	Low-energy electrical discharge
6	T3	High-energy electrical discharge
7	D+T	Indeterminate - thermal fault or electrical



B. Metode Key Gas

TABEL II  
KARAKTERISTIK GANGGUAN DENGAN METODE KEYGAS

No	Keygas	Diagnosis
1	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Thermal Oil
2	CO	Thermal Cellulose
3	H <sub>2</sub>	Partial Discharge
4	H <sub>2</sub> + C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Arcing

Pada metode Gas Kunci yang digunakan sebagai

indikator gangguan adalah Hidrogen (H<sub>2</sub>), Karbon Monoksida (CO), Metana(CH<sub>4</sub>), Ethylene(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Etana(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), dan Acetilena (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) [3]. Komposisi jumlah gas secara individu yang menonjol digunakan untuk mempresentasikan kegagalan yang terjadi pada transformator. Hal ini ditunjukkan seperti pada Tabel II.

C. Metode Total Dissolved Combustible Gases (TDCG)

Gas gas yang mudah terbakar antara lain adalah Hydrogen (H<sub>2</sub>), Methana (CH<sub>4</sub>), Ethana (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Ethylene (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), Achetylena (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>) dan Carbonmonoxide (CO) [3]. Jumlah konsentrasi masing-masing gas yang mudah terbakar tersebut dijumlah, dan Jumlah total dari gas-gas yang mudah terbakar ini (TDCG) digunakan untuk mengetahui kondisi transformator sesuai Tabel III

TABEL III  
KARAKTERISTIK GANGGUAN DENGAN METODE TDCG

Level	Konsentrasi (ppm)	Keterangan TDCG
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	Indikasikan dekomposisi tingkat tinggi dari isolasi. Kegagalan mungkin sudah terjadi. Lakukan pencegahan agar gangguan tidak berlanjut.
4	> 4630	Indikasikan pemburukan yang sangat tinggi dan adanya dekomposisi / kerusakan pada isolator sudah meluas. Akan segera terjadi kerusakan transformator. Segera lakukan tindakan perbaikan.

D. Metode Roger's Ratio.

Metode rasio roger menggunakan empat macam gas yaitu H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> dan C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

TABEL III  
KARAKTERISTIK GANGGUAN DENGAN METODE RASIO ROGER

Range Code Ratio	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
< 0,1	0	1	0
0,1 - 1	1	0	0
1 - 3	1	2	1
> 3	2	2	2

Case	Tipe Gangguan	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub> / H <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> / C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
1	Tidak terjadi gangguan	0	0	0
2	Partial Discharges dengan energi rendah	1	1	0
3	Partial Discharges dengan energi tinggi	1	1	0
4	Discharges, sparking, arcing dengan energi rendah	1-2	0	1-2
5	Arcing, Discharges dengan energi tinggi	1	0	2
6	Gangguan panas dengan temperatur < 150 <sup>0</sup> C	0	0	1
7	Panas dengan temperatur rendah antara 150 <sup>0</sup> C - 300 <sup>0</sup> C	0	2	0
8	Panas dengan temperatur tinggi antara 300 <sup>0</sup> C - 700 <sup>0</sup> C	0	2	1

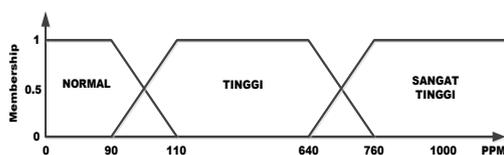
Menurut metode rasio roger yang disempurnakan dalam rasio IEC [2][3], diagnosa gangguan transformator yang merupakan analisis perbandingan

suatu gas kunci terhadap gas kunci lainnya. Hasil diagnosa gangguan dengan metode ini ditunjukkan pada Tabel III. Ada delapan hasil analisis, tetapi hanya tiga kategori yaitu kategori normal, kategori panas minyak transformator, dan elektrik *discharge*.

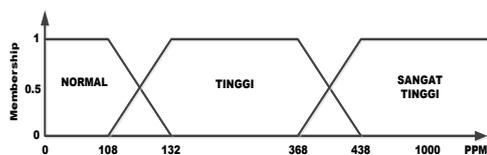
### III. SISTEM PAKAR FUZZY.

Sistem pakar fuzzy dirancang dengan menggabungkan dua metode yaitu sistem pakar yang mengambil data dari metode standar yang sudah ada yaitu metode TDCG, metode Gas Kunci, Metode Rasio Roger, Metode Doernenburg dan Metode Segitiga Duval. Sedangkan Logika Fuzzy yang digunakan adalah pendekatan menggunakan Metode Gas Kunci.

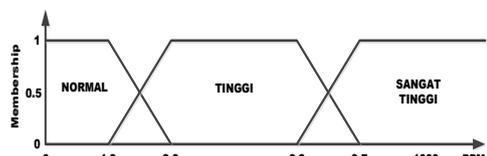
Logika fuzzy yang dirancang menggunakan input dari gas-gas yang mudah terbakar antara lain *Hydrogen*( $H_2$ ), *Methana*( $CH_4$ ), *Ethana*( $C_2H_6$ ), *Ethylene* ( $C_2H_4$ ), *Achetylena*( $C_2H_2$ ) dan *Carbonmonoxide*( $CO$ ).



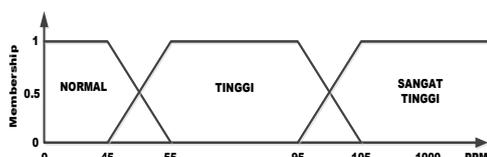
Gambar 2 Fungsi keanggotaan gas  $H_2$



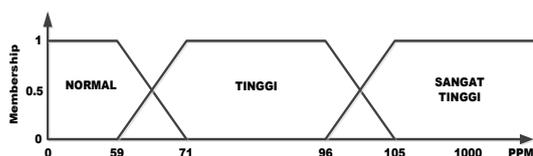
Gambar 3 Fungsi keanggotaan gas  $CH_4$



Gambar 4 Fungsi keanggotaan gas  $C_2H_2$



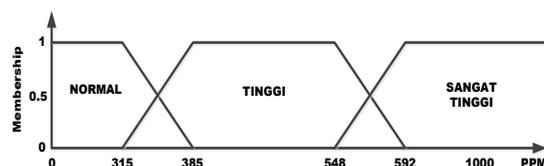
Gambar 5 Fungsi keanggotaan gas  $C_2H_4$



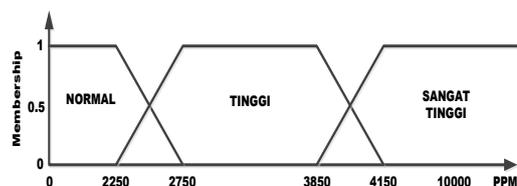
Gambar 6 Fungsi keanggotaan gas  $C_2H_6$

Pada fase Fuzzifikasi, masing masing gas dibagi menjadi beberapa fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan masing masing gas dapat di tunjukkan pada Gambar 2 untuk fungsi keanggotaan  $H_2$ , Gambar 3 untuk fungsi keanggotaan  $CH_4$ , Gambar 4 untuk fungsi keanggotaan  $C_2H_2$ , Gambar 5 untuk fungsi keanggotaan

$C_2H_4$ , Gambar 6 untuk fungsi keanggotaan  $C_2H_6$ , Gambar 7 untuk fungsi keanggotaan  $CO$ , dan Gambar 8 untuk fungsi keanggotaan  $CO_2$ . Masing-masing fungsi memiliki tiga keanggotaan yaitu normal, tinggi, dan sangat tinggi, namun dengan batas nilai yang berbeda-beda tergantung jenis gas secara individual.



Gambar 7 Fungsi keanggotaan gas  $CO$



Gambar 8 Fungsi keanggotaan gas  $CO_2$

Pada perancangan *rules* menggunakan data pendekatan Gas Kunci. Ada tiga indikasi kegagalan yang menonjol sesuai karakteristik gas, yaitu Ethylene ( $C_2H_4$ ), Hydrogen ( $H_2$ ), dan Carbon Monoxide ( $CO$ ). Gas Ethylene dapat digunakan sebagai pendeteksi *Thermal Oil*, Gas Hydrogen sebagai pendeteksi *Discharge*, dan Carbon Monoxide sebagai pendeteksi *Thermal Cellulose*.

TABEL V  
RULES UNTUK THERMAL CELLULOSE

Rules	Karakteristik Gangguan	Aturan	Evidence
1	Normal	IF $CO=1$ AND $CO_2=1$ THEN $OUT=Normal$	Pada level ini mengindikasikan bahwa minyak dan isolasi minyak transformator dalam kondisi normal
2	TC	IF $CO=2$ AND $CO_2>=1$ THEN $OUT=Thermal Cellulose$	Pada level ini mengindikasikan kerusakan pada isolator kertas.
3	HTC	IF $CO=3$ AND $CO_2>1$ THEN $OUT=High Thermal Cellulose$	Pada level ini mengindikasikan kerusakan pada isolator kertas dan kontak <i>tap changer</i> disertai dengan temperatur yang cukup tinggi.

Gas Ethylene ( $C_2H_4$ ) digunakan sebagai pendeteksi *Thermal Oil* bila disertai dengan Hydrogen ( $H_2$ ) bisa berarti Minyak dalam kondisi panas tinggi. Sedangkan *Hydrogen* ( $H_2$ ) secara individu dapat digunakan sebagai pendeteksi adanya *Discharge* secara *partial* atau *discharge low energy*.

Apabila disertai dengan  $CH_4$  dapat berarti *Discharge medium energy*. Gas Acetylene ( $C_2H_2$ ) digunakan sebagai pendeteksi panas berlebih, atau panas yang sangat tinggi, dan atau *discharge of high energy* atau terjadinya *corona* pada isolasi minyak

Tabel V adalah *rules* untuk diagnosis *Thermal Cellulose*, Tabel VI adalah *rules* untuk diagnosis *Thermal Oil*. Dan Tabel VII adalah *rules* untuk diagnosis *Discharge* pada transformator.

TABEL VI  
RULES UNTUK THERMAL OIL

Rules	Karakteristik Gangguan	Aturan	Evidence
1	Normal	IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> =1 AND H <sub>2</sub> =1 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 THEN OUT=Normal	Pada level ini mengindikasikan bahwa suhu minyak transformator dalam kondisi normal
2	T1 150 – 300 °C	IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> =1 AND H <sub>2</sub> =2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 THEN OUT=T1	Pada level ini mengindikasikan bahwa minyak transformator mengalami temperatur level rendah.
3	T2 300 – 700 °C	IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> =2 AND H <sub>2</sub> =2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 OR IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> >=2 AND H <sub>2</sub> >=2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 OR IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> =2 AND H <sub>2</sub> =2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> >=2 OR IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> >=2 AND H <sub>2</sub> >=2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =2 THEN OUT=T2	Pada level ini mengindikasikan bahwa minyak transformator mengalami temperatur level sedang.
4	T3 > 700 °C	IF C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> =3 AND H <sub>2</sub> =3 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =3 OR THEN OUT=T3	Pada level ini mengindikasikan bahwa minyak transformator mengalami temperatur sangat tinggi.

TABEL VII  
RULES UNTUK ELECTRIC DISCHARGE

Rules	Karakteristik Gangguan	Aturan	Evidence
1	Normal	IF H <sub>2</sub> =1 AND CH <sub>4</sub> =1 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 THEN OUT=Normal	Pada level ini mengindikasikan bahwa transformator dalam kondisi normal
2	PD	IF H <sub>2</sub> =2 AND CH <sub>4</sub> =1 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 THEN OUT=Partial Discharge	Pada level ini mengindikasikan bahwa trafo mengalami gejala corona dengan indikasi partial discharges energi rendah
3	D1	IF H <sub>2</sub> =2 AND CH <sub>4</sub> >=2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =1 THEN OUT= Discharge of low energy	Pada level ini mengindikasikan bahwa trafo mengalami gejala corona dengan indikasi discharges energi rendah
4	D2	IF H <sub>2</sub> =3 AND CH <sub>4</sub> >=2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =2 THEN OUT= Discharge of high energy	Pada level ini mengindikasikan bahwa trafo mengalami discharge dengan indikasi discharges energi cukup tinggi
5	ARCING	IF H <sub>2</sub> =3 AND CH <sub>4</sub> >=2 AND C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> =3 THEN OUT=Arcing	Pada level ini mengindikasikan bahwa trafo mengalami discharge dengan indikasi discharges energi sangat tinggi

Fase berikutnya adalah defuzzifikasi yang merupakan proses setelah melalui proses fuzzifikasi dan proses inferensi. Proses inferensi yang digunakan adalah model Mamdani dengan cara clipping (alpha cut), karena cara clipping merupakan salah satu cara yang mudah diimplementasikan dan akan menghasilkan bentuk yang mudah di-defuzzification [4]. Sebagai contoh misalnya data input fuzzy CO dan CO<sub>2</sub> yang didapat adalah CO tinggi (0,2) , CO sangat tinggi (0,8), CO<sub>2</sub> tinggi (0,35),

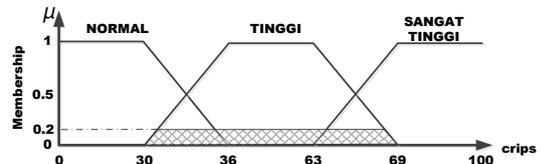
dan CO<sub>2</sub> sangat tinggi (0,65), maka akan didapat empat aturan dari sembilan aturan yang dapat diaplikasikan :

- IF CO is tinggi and CO<sub>2</sub> is tinggi THEN OUT is Thermal Cellulose
- IF CO is sangat tinggi and CO<sub>2</sub> is tinggi THEN OUT is High Thermal Cellulose
- IF CO is tinggi and CO<sub>2</sub> is sangat tinggi THEN OUT is Thermal Cellulose
- IF CO is sangat tinggi and CO<sub>2</sub> is sangat tinggi THEN OUT is High Thermal Cellulose

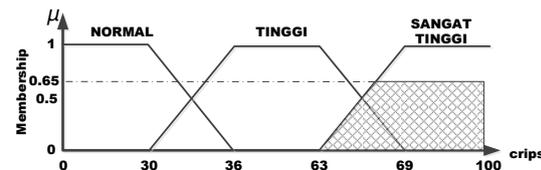
Dari empat aturan fuzzy dan empat input fuzzy tersebut, maka proses inference yang terjadi adalah melalui aturan *Conjunction* dan aturan *Disjunction*.

Aturan *Conjunction* (∧) digunakan dengan memilih derajat keanggotaan minimum dari nilai-nilai linguistik yang diperoleh, dan dilakukan clipping pada fungsi keanggotaan trapesium untuk OUT. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

- IF CO is tinggi (0,2) and CO<sub>2</sub> is tinggi (0,35) THEN OUT is Thermal Cellulose (0,2)
- IF CO is sangat tinggi (0,8) and CO<sub>2</sub> is tinggi (0,35) THEN OUT is High Thermal Cellulose (0,35)
- IF CO is tinggi (0,2) and CO<sub>2</sub> is sangat tinggi (0,65) THEN OUT is Thermal Cellulose (0,2)
- IF CO is sangat tinggi (0,8) and CO<sub>2</sub> is sangat tinggi (0,65) THEN OUT is High Thermal Cellulose (0,65)



(a)

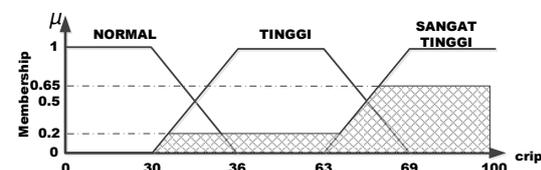


(b)

Gambar 9 Dua Fuzzy Set dari proses Clipping: (a) Level Tinggi (0,2) dan (b) Level Sangat Tinggi (0,65).

Aturan *Disjunction* (∨) digunakan dengan memilih derajat keanggotaan maximum dari nilai-nilai linguistik yang diperoleh. Prosesnya sebagai berikut :

- OUT is Thermal Cellulose (0,2) ∨ OUT is Thermal Cellulose (0,2) dihasilkan OUT is Thermal Cellulose (0,2)
- OUT is High Thermal Cellulose (0,35) ∨ OUT is High Thermal Cellulose (0,65) dihasilkan OUT is High Thermal Cellulose (0,65).



Gambar 10 Proses Composition dari dua fuzzy

Dengan demikian diperoleh dua pernyataan yaitu OUT is Thermal Cellulose (0,2) dan OUT is High Thermal Cellulose (0,65). Proses inferensi menggunakan Model Mamdani menggunakan proses clipping menghasilkan dua area yang diarsir yang ditunjukkan pada Gambar 9

Sebelum *defuzzyfication*, terlebih dahulu dilakukan proses *composition*, yaitu agregasi hasil *clipping* dari semua aturan fuzzy sehingga didapatkan satu *fuzzy set* tunggal. Proses *composition* dari dua *fuzzy set*, OUT is *Thermal Cellulose* (0,2) dan OUT is *High Thermal Cellulose* (0,65), menghasilkan satu fuzzy set tunggal yang ditunjukkan pada Gambar 10..

Untuk mendapatkan nilai *Crips* pada proses *Defuzzyfication* digunakan metode *Centroid* atau disebut juga *Center of Area*. Metode ini menggunakan persamaan:

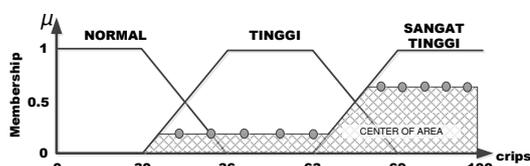
$$y^* = \frac{\int y\mu_R(y)dy}{\int \mu_R(y)dy} \quad (1)$$

dimana  $y^*$  adalah suatu nilai *crisp*, dan fungsi *Integration* ini bisa digantikan dengan fungsi *summation* jika  $y$  bernilai diskrit, sehingga menjadi :

$$y^* = \frac{\sum y\mu_R(y)}{\sum \mu_R(y)} \quad (2)$$

dimana  $y$  adalah nilai *crisp* dan  $\mu_R(y)$  adalah derajat keanggotaan dari  $y$ .

Dengan menggunakan metode *Centroid* dapat dipasang titik sembarang pada daerah yang diarsir pada gambar 11 untuk mempermudah perhitungan.



Gambar 11. Fuzzy set dengan metode Centroid

Misalnya titik titik tersebut adalah 32, 35, 45, 55, 63, 67, 72, 78, 85, dan 93

Dengan menggunakan persamaan metode Centroid dari titik-titik tersebut, diperoleh hasil sebagai berikut:

$$y^* = \frac{(32 + 35 + 45 + 55 + 63)0,2 + (67 + 72 + 78 + 85 + 93)0,65}{0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,2 + 0,65 + 0,65 + 0,65 + 0,65 + 0,65}$$

$$y^* = \frac{46 + 257}{4,25} = \frac{303}{4,25} = 71$$

Jadi dengan model Mamdani diperoleh hasil nilai *crisp* = 71, yang artinya bahwa kondisi Thermal Cellulose adalah sangat tinggi (71).

Perancangan sistem fuzzy tersebut diatas digunakan untuk perancangan tiga buah sistem fuzzy yaitu untuk Thermal Oil, Discharge, dan Thermal Cellulose

#### IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

Mengenai implementasi hasil dan pengujian analisis gas terlarut dari metode TDCG, Gas Kunci, IEC, Dornenburg, Rogers dan Duval serta penerapan sistem fuzzy yang merupakan proses dari hasil perancangan perangkat lunak, kemudian membandingkan beberapa

metode tersebut, untuk dijadikan acuan pengambilan keputusan yang paling tepat untuk langkah pemeliharaan transformator tersebut.

Penerapan ini dilakukan untuk menganalisis hasil uji data gas terlarut, pada metode fuzzy adalah untuk mengetahui kondisi transformator baik kondisi *thermal cellulose*, *thermal oil*, maupun *discharge*, sedangkan pada sistem pakar yaitu TDCG, Gas Kunci, IEC, Dornenburg, Rogers dan Duval adalah untuk pembandingan atau referensi tambahan dalam mendeteksi gangguan *electrical fault* dan *thermal fault*.

##### A. Pengujian Trafo 1 GI Turen

Hasil pengujian Trafo 1 GI Turen yang ditunjukkan pada tabel VIII dapat dilihat bahwa diagnosis Fuzzy mengindikasikan adanya High Thermal Cellulose, hal ini sangat beralasan karena nilai CO dan CO2 yang sangat tinggi disebabkan adanya kerusakan pada isolasi kertas transformator dan disertai suhu yang cukup tinggi.

TDCG mengindikasikan kondisi tinggi dimana level TDCG sudah melampaui batas normal yaitu diatas 700. Keygas mengindikasikan adanya Overheat Cellulose yang diperoleh adanya nilai CO yang cukup tinggi. Duval mengindikasikan adanya gangguan thermal di tingkat rendah sekitar 150 – 300 °C disebabkan timbulnya gas C2H4. Sedangkan Dornenburg, Roger dan IEC menyatakan Non Ratio dimana nilai gas yang ada dianggap dalam batas normal, hal ini karena gas CO dan CO2 tidak terdapat dalam rasio Doernenburg, Roger dan IEC.

TABEL VIII  
HASIL PENGUJIAN TRAF0 1 GI TUREN

GI Turen Trafo 1									
Tanggal	H <sub>2</sub> (ppm)	N <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	TDCG (ppm)
16/2/09	64.25	0	14.3	642.67	6340.33	1.98	0	0	723.2
Hasil Pengujian									
TDCG	KEYGAS	DUVAL	DOERNENBURG	ROGER	IEC	FUZZY			
Tinggi	Overheat Cellulose	Low Thermal 150 - 300 °C	Normal	Non Ratio	Non Ratio	High Thermal cellulose			

##### B. Pengujian Trafo 1 GI Pakis

Pada pengujian Trafo 1 GI Pakis yang hasilnya ditunjukkan pada tabel IX menjelaskan bahwa diagnosis Fuzzy mengindikasikan adanya Arcing dan High Thermal Oil. Trafo dinyatakan arcing karena adanya gas H2 yang sangat tinggi dan disertai dengan gas CH4 dan C2H2 yang sangat tinggi, dan dinyatakan High thermal oil karena adanya gas C2H4 yang disertai munculnya muncurl C2H2 yang sangat tinggi, dimana gas C2H2 biasanya muncul apabila temperatur minyak sudah berada di atas 500 °C.

TABEL IX  
HASIL PENGUJIAN TRAF0 1 GI PAKIS

GI Pakis Trafo 1									
Tanggal	H <sub>2</sub> (ppm)	N <sub>2</sub> (ppm)	CH <sub>4</sub> (ppm)	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	TDCG (ppm)
6/10/09	1713.64	0	355.56	0	2511.15	275.5	218.09	770.01	3332.8
Hasil Pengujian									
TDCG	KEYGAS	DUVAL	DOERNENBURG	ROGER	IEC	FUZZY			
Sangat Tinggi	High Discharge	Low Discharge	Arcing	Low Discharge	Low Discharge	Arcing & Very High Thermal Oil			

TDCG mengindikasikan kondisi 3 dimana level TDCG adalah level yang sangat tinggi, yang mengindikasikan adanya dekomposisi tingkat tinggi dari isolasi kertas dan atau minyak transformator. Keygas mengindikasikan adanya High Discharge yang diperoleh adanya nilai C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> disertai C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> yang sangat tinggi. Duval mengindikasikan adanya discharge energi rendah. Rasio Dornenburg menyatakan arcing, sedangkan Roger dan IEC menyatakan discharge di tingkat rendah.

TABEL X  
PERBANDINGAN HASIL ANALISIS YANG DIPEROLEH

NO	DATA DGA	METODE						
		TDCG	KEY GAS	DUVAL	DOER	ROGER	IE C	FUZZY
1	GI Turen Trafo 1	<	<	<	-	-	-	<
2	GI Blimbing Trafo 2	<	<	<	-	-	-	<
3	GI Pakis Trafo 1	<	<	<	<	<	<	<
4	GI Babadan Trafo 1	-	<	<	-	-	-	<
5	GI Babadan Trafo 3	<	<	-	-	-	-	<
6	GI Buduran Trafo 2	<	<	<	-	<	<	<
7	GI Buduran Trafo 5	<	<	<	-	-	-	<
8	GI Waru Trafo 1	<	<	-	-	-	-	<
Jumlah data yang dapat didiagnosis		7	8	6	1	2	2	8
Prosentase (%)		87,5	100	75	12,5	25	25	100

#### V. ANALISIS.

Setelah dilakukan pengujian sistem terhadap delapan data analisis gas terlarut yang nilainya melebihi normal, dari beberapa Transformator di Gardu Induk wilayah

Jawa Timur dengan menggunakan beberapa metode, seperti ditunjukkan pada Tabel X.

Dari delapan data DGA yang nilainya diatas normal digunakan sebagai data pengujian sistem, diambil sebagai contoh pada Tabel X., metode TDCG dapat mendiagnosis 87,5% data, Metode Key Gas 100%, Metode Duval 75%, Metode Doernenburg 12,5%, Metode Roger 25%, Metode IEC 25%, dan Metode Fuzzy 100% . Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa metode keygas dan metode fuzzy dapat menganalisis 100% data DGA, namun metode key gas sangat rentan terhadap kesalahan diagnosis, hal ini karena data DGA yang normal juga masuk dalam analisis sebagai kegagalan. Jadi metode fuzzy dengan menggunakan pendekatan key gas lebih efektif dalam menyelesaikan diagnosis terhadap data-data DGA tersebut.

#### VI. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa: Sistem Pakar Fuzzy lebih efektif dalam mendiagnosis kegagalan transformator dan dapat implementasikan pada instansi yang membutuhkan dan akan sangat membantu dalam menganalisis DGA, sehingga dapat diperoleh hasil yang lebih optimal, dan dapat segera diambil langkah pencegahan sedini mungkin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Myers, S.D, Kelly, J.J. dan Parrish, R.H, 1981. *A Gulde to Transformer Maintenance*, Transformer Maintenance Institut of S.D. Myers. Inc. Akron, Ohio
- [2] IEC 60599 *Second Edition* 1999 – 03, *Mineral Oil – Impregnated Electrical Equipment in service – Guide to interpretation of Dissolved and free Gases Analysis*.
- [3] IEEE Standar C57.104-2008. *Guide for interpretation of Gases Generate in Oil Immersed Transformer*.
- [4] Suyanto, 2011. *Artificial Intelligence*. Penerbit Informatika. Bandung.