

Aplikasi *Fuzzy Logic* Pada Metode *Dissolved Gas Analysis* Untuk Mengklasifikasikan Tipe *Fault* Pada Minyak Trafo

Risti Nurita Digdayanti¹, Wahyuni Martiningsih², Siswo Wardoyo³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Cilegon, Indonesia

¹risti89@gmail.com, ²yuni_elektro@yahoo.com, ³siswo@ft-untirta.ac.id

Abstrak – Kegagalan thermal maupun kegagalan elektrik dapat menghasilkan gas-gas berbahaya yang disebut *fault gas*. Dengan mengidentifikasi jumlah konsentrasi gas yang terlarut pada minyak trafo dapat memberikan informasi akan adanya indikasi kegagalan yang terjadi pada trafo. Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis gas-gas terlarut pada minyak disebut *dissolved gas analysis (DGA)*. Untuk interpretasi data DGA menggunakan rasio roger yang dikembangkan menggunakan logika fuzzy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan logika fuzzy, penentuan kode rasio menjadi lebih mudah dan tipe *fault* dapat diketahui lebih cepat.

Kata kunci : DGA, logika fuzzy, roger rasio

Abstract – Failure of thermal and electrical can produce harmful gases called *gas fault*. By identifying the number concentration of dissolved gas in transformer oil can provide an indication of the existence of failures in transformers. The methods used to identify and analyze the gases dissolved in the oil is called *dissolved gas analysis (DGA)*. For DGA data interpretation using ratios roger developed using fuzzy logic. The results showed that by using fuzzy logic, the determination of the ratio of code becomes easier and the type of *fault* can be detected more quickly.

Keywords : DGA, roger ratio, fuzzy logic

I. PENDAHULUAN

Trafo merupakan salah satu bagian penting dalam suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengkonversikan daya tanpa mengubah frekuensi listrik. Sebagai peralatan listrik, trafo tidak lepas dari fenomena kegagalan (*failure*), baik kegagalan thermal maupun kegagalan *elektris*. Jenis kegagalan yang biasa terjadi pada trafo daya adalah *arcing*, *partial discharge*, dan *overheating* pada sistem isolasi. Kegagalan ini dapat diawali dengan dekomposisi pada bahan isolasi dan pembentukan berbagai kandungan gas yang berbeda. Gas yang terbentuk adalah Hydrogen (H₂), Methane (CH₄), Ethane (C₂H₆), Ethylene (C₂H₄), Acetylene (C₂H₂), Carbon Monoxide (CO) Dan Carbon Dioxide (CO₂)[3].

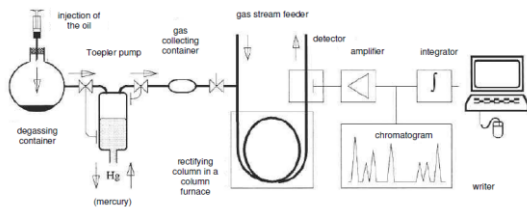
Untuk mencegah kegagalan isolasi trafo maka dilakukan tindakan preventif. Salah satu cara yang telah digunakan untuk mendeteksi kegagalan trafo adalah dengan mengevaluasi jumlah gas dan kenaikannya. Metodenya disebut Dissolved Gas Analysis (DGA) yaitu menganalisis kondisi trafo berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo Walaupun metode DGA telah banyak digunakan namun masih terdapat kesulitan saat menggunakan metode konvensional. Pada penelitian ini metode konvensional roger rasio dikembangkan menggunakan logika fuzzy. Diharapkan dengan menggunakan logika fuzzy penentuan kode tentang jenis *fault gas* yang terkadang tidak sesuai akan mampu diselesaikan dengan logika fuzzy.

II. LANDASAN TEORI

Analisa gas terlarut (DGA) adalah analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo. Selama beberapa tahun metode analisa gas terlarut pada minyak telah digunakan sebagai alat diagnosis trafo. Metodenya telah digunakan untuk beberapa tujuan antara lain untuk mendeteksi *incipient fault*, untuk mengawasi tanda-tanda yang mencurigakan pada trafo, dan untuk meyakinkan bahwa trafo dalam keadaan sehat. Dalam menganalisa kandungan gas terlarut diperlukan beberapa tahap yaitu pengambilan sample minyak, ekstraksi gas, interpretasi data dan pengambilan kesimpulan. Metode untuk mengekstraksi gas ada dua macam yaitu:

1. Gas Chromatograph

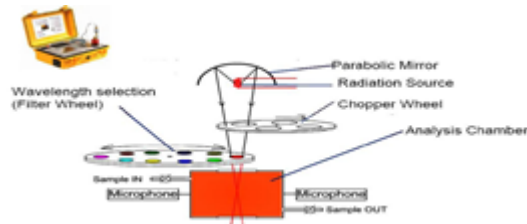
Teknik memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan berdasarkan tingkat penguapannya (*volatility*) seperti pada Gambar 1. Metode ini menggunakan beberapa komponen utama, yaitu tabung sempit yang dikenal sebagai kolom, oven/elemen pemanas, gas pembawa (*carrier gas*), dan detektor gas. Gas pembawa yang digunakan biasanya merupakan jenis gas yang lambat, seperti nitrogen atau argon.



Gambar 1. Proses gas chromatograph

2. Photoacoustic Spectroscopy (PAS)

Dengan radiasi gelombang elektromagnetik dalam menentukan konsentrasi gas terlarut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses PAS

2.1. Interpretasi data DGA

1. Limit IEEE

Panduan keempat kondisi DGA untuk mengklasifikasikan resiko trafo yang sebelumnya tidak bermasalah telah dikembangkan di IEEE C57.104. Ini menggunakan kombinasi individual gas dan total konsentrasi gas yang mudah terbakar.

Tabel 1. Batas konsentrasi gas terlarut(ppm)[4]

| Status | H ₂ | CH ₄ | C ₂ H ₂ | C ₂ H ₄ | C ₂ H ₆ | CO | CO ₂ | TDCG |
|-----------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|----------|-----------------|-----------|
| Kondisi 1 | 100 | 120 | 35 | 50 | 65 | 350 | 2500 | 720 |
| Kondisi 2 | 101-107 | 121-400 | 36-50 | 51-100 | 66-100 | 351-570 | 2500-4000 | 721-1920 |
| Kondisi 3 | 701-1800 | 401-1000 | 51-80 | 101-200 | 101-150 | 571-1400 | 4001-10000 | 1921-4630 |
| Kondisi 4 | >1800 | >1000 | >80 | >200 | >150 | >1400 | >10000 | >4630 |

*CO₂ tidak termasuk dalam penjumlahan TDCG karena bukan termasuk gas yang mudah terbakar

Keempat kondisi dijelaskan di bawah ini:

Kondisi 1: Total dissolved combustible gas (TDCG) pada level ini mengindikasikan bahwa operasi trafo memuaskan. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat.

Kondisi 2: TDCG pada Kondisi ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan tren karena gangguan mungkin muncul.

Kondisi 3: TDCG pada level ini mengindikasikan pemburukan tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend. Gangguan kemungkinan besar hadir

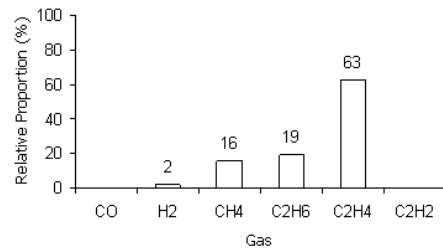
Kondisi 4: TDCG dalam kisaran ini menunjukkan dekomposisi yang berlebihan selulosa isolasi dan / atau minyak. Operasi lanjutan dapat mengakibatkan *kegagalan transformator*.

2. Key Gas

Key gas didefinisikan oleh IEEE std.C57 – 104.1991 sebagai gas-gas yang terbentuk pada transformator pendingin minyak yang secara kualitatif dapat digunakan untuk menentukan jenis kegagalan yang terjadi, berdasarkan jenis gas yang khas atau lebih dominan terbentuk pada berbagai temperatur.

A.Thermal – oil

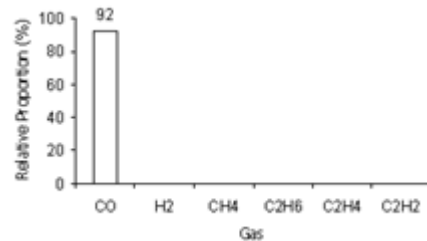
Hasil pemburukan termasuk ethylene dan methane, ditambah dengan kecilnya kehadiran hydrogen dan methane seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Gas kunci ethylene.



Gambar 3. Grafik thermal oil

B.Thermal – hydrogen

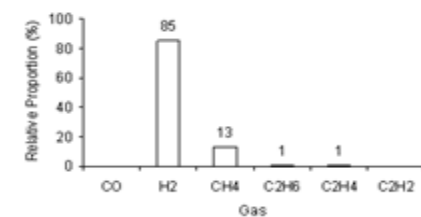
Jumlah besar dari senyawa CO dan CO₂ dibentuk dari panas berlebih pada kertas cellulose seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Gas kunci carbon monoksida.



Gambar 4. Grafik thermal cellulose

C.Electrical – korona

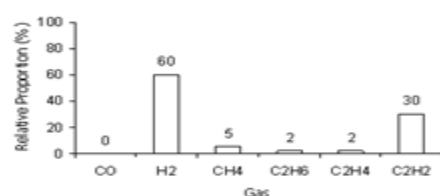
Elektrik discharge low- energy menghasilkan hydrogen dan methane, dengan jumlah kecil ethane dan ethylene seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gas kunci hydrogen



Gambar 5. Grafik electrical korona

D.Electrical – arcing

Jumlah yang banyak dari hydrogen dan acetylene dengan jumlah sedikit methane dan ethylene terjadi saat arcing seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Gas kunci acetylene



Gambar 6. Grafik electrical arcing

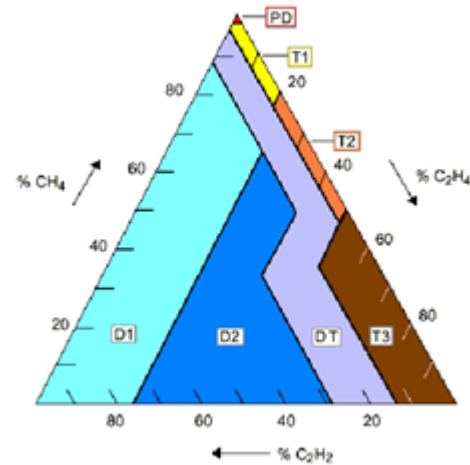
3. Roger Ratio

Metode rasio roger adalah membandingkan jumlah dari berbagai gas berbeda dengan membagi satu gas dengan yang lainnya, hal ini membentuk sebuah rasio perbandingan antara satu gas dengan yang lain. Metode ini menggunakan rasio tiga buah gas yaitu C₂H₂ /C₂H₄, CH₄ /H₂ dan C₂H₄ /C₂H₆. Perlu diketahui bahwa metode roger rasio ini digunakan untuk analisa gangguan bukan untuk mendeteksi gangguan maka dari itu harus sudah terdeteksi adanya gangguan dengan menggunakan limit The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Panduan kode roger rasio dan penjelasan fault yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 2.

4. Duval Triangle

Metode ini menggunakan plot segitiga untuk menganalisa gangguan. metode ini menggunakan tiga nilai gas yaitu CH₄, C₂H₄ dan C₂H₂. Saat menggunakan duval triangle perlu ditentukan apakah ada masalah, dengan cara memastikan setidaknya satu dari hydrocarbon gas atau hydrogen harus di tingkat atau di atas L1 dan tingkat generasi gas setidaknya G2 seperti pada Tabel 3.

Setelah dilakukan perhitungan maka nilai yang didapatkan langsung diplotkan pada segitiga duval pada Gambar 7. Perhitungan menggunakan persamaan (1), (2), (3).



Gambar 7. Duval triangle

Tipe-tipe fault yang diklasifikasikan dalam duval triangle yaitu:

- PD = partial discharge
- T1 = thermal fault kurang dari 300 °C
- T2 = thermal fault antara 300 °C dan 700 °C
- T3 = thermal fault lebih dari 700 °C
- D1 = low energy discharge (sparking)
- D2 = high energy discharge (arcing)
- DT = campuran thermal dan electrical faults

$$\%CH_4 = \frac{CH_4}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (1)$$

$$\%C_2H_4 = \frac{C_2H_4}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (2)$$

$$\%C_2H_2 = \frac{C_2H_2}{CH_4+C_2H_4+C_2H_2} 100\% \quad (3)$$

Tabel 3. Limit L1 dan limir perbulan

| Gas | L1 limit | G1 limit (ppm/bulan) | G2 limit (ppm/bulan) |
|-------------------------------|----------|----------------------|----------------------|
| H ₂ | 100 | 10 | 50 |
| CH ₄ | 75 | 8 | 38 |
| C ₂ H ₂ | 3 | 3 | 3 |
| C ₂ H ₄ | 75 | 8 | 38 |
| C ₂ H ₆ | 75 | 8 | 38 |
| CO | 700 | 70 | 350 |
| CO ₂ | 7000 | 700 | 3500 |

Tabel 2. Roger rasio[3]

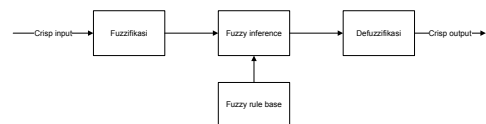
| Kode range rasio | C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ | C ₂ H ₄ /H ₂ | C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆ | Batas deteksi dan 10X batas deteksi: C ₂ H ₂ 1ppm 10ppm C ₂ H ₄ 1ppm 10ppm CH ₄ 1ppm 10ppm H ₂ 5ppm 50ppm C ₂ H ₆ 1ppm 10ppm | |
|------------------|--|---|--|---|---|
| <0.1 | 0 | 1 | 0 | | |
| 0.1 - 1 | 1 | 0 | 0 | | |
| 1 - 3 | 1 | 2 | 1 | | |
| >3 | 2 | 2 | 2 | | |
| No | Tipe fault | Masalah yang ditemukan | | | |
| 1. | Tidak ada fault | 0 | 0 | 0 | Kondisi normal |
| 2. | Low partial Discharge | 0 | 1 | 0 | Electric discharge dalam gelembung karena isolasi atau gas antara pada minyak atau kelembaban yang tinggi pada minyak |
| 3. | High partial Discharge | 1 | 1 | 0 | Sama seperti di atas tapi di awali dengan tingkat isolasi rendah oleh sparking atau arcing ini biasanya menghasilkan CO dan CO ₂ |
| 4. | Low energy partial discharge, sparking, arcing | 1-3 | 0 | 1-2 | Sparking yang terus menerus pada minyak antara busbar yang buruk dari beda potensial breakdown dielektrik minyak antara material isolasi. |
| 5. | High partial discharge, arcing | 1 | 0 | 2 | Isolasi konduktor overheated, umumnya menghasilkan CO dan CO ₂ karena umumnya gangguan tipe ini meliputi isolasi rendah |
| 6. | Thermal fault <150 °C | 0 | 0 | 1 | Tidak overheated pada busi karena konsentrasi fluka overheated pada busi konduktor karena edy current. Kontak yang buruk pada lilitan atau bad contact pada tap changer. sirkulasi arus pada inti busi, ini dapat menggabungkan inti busi ke ground |
| 7. | Thermal fault antara 150-300°C | 0 | 2 | 0 | |
| 8. | Thermal fault antara 300-700°C | 0 | 2 | 1 | Masalah ini mungkin meliputi isolasi rendah yang menghasilkan CO dan CO ₂ |
| 9. | Thermal fault >700 °C | 0 | 2 | 2 | |

2.2. Logika Fuzzy

Fuzzy secara bahasa diartikan sebagai kabur atau samar-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 atau 0 (ya atau tidak). Logika fuzzy merupakan sesuatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran (fuzzyness) antara benar atau salah. Dalam teori logika fuzzy suatu nilai bias bernilai benar atau salah secara bersama. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan sesuatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya.

2.2.1. Fuzzy Inference System

Bagian sistem logika fuzzy terdiri dari 4 komponen utama yaitu fuzzifikasi, fuzzy inference, fuzzy rule base, dan defuzzifikasi.



Gambar 8. Sistem logika fuzzy

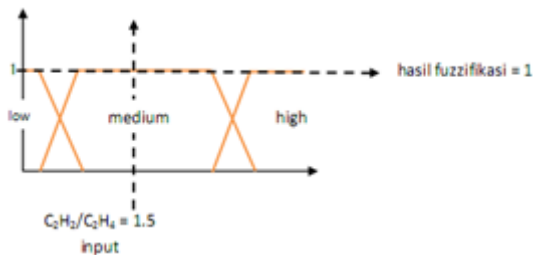
1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses pemetaan input crisp ke dalam himpunan-himpunan fuzzy dalam bentuk fungsi keanggotaan. Tujuan dari fuzzifikasi adalah untuk mendapatkan derajat keanggotaan dari hasil pemetaan

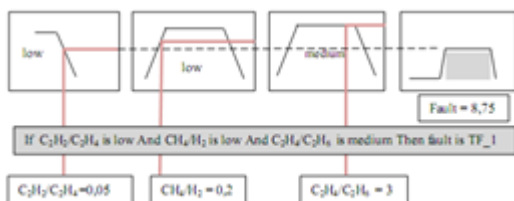
input crisp ke dalam fungsi keanggotaan yang bersesuaian. Proses fuzzifikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

2. Fuzzy inferensi

Proses inferensi di artikan sebagai proses pemetaan input fuzzy menjadi output berdasarkan if-then rule yang diberikan[1]. Proses fuzzy inferensi melibatkan membership function, operator fuzzy dan if-then rule. Penelitian ini menggunakan metode mamdani dalam melakukan inferensi fuzzy. Proses inferensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 9. Fuzzifikasi



Gambar 10. Inferensi fuzzy

3. Fuzzy rule base

Logika fuzzy bekerja berdasarkan aturan-aturan yang dinyatakan dalam bentuk pernyataan if-then. Sebuah aturan fuzzy tunggal berbentuk seperti berikut:

IF x is A THEN y is B

dimana A dan B adalah linguistic values (seperti panas, dingin, tinggi, rendah, dll). Pernyataan “x is A” disebut antecedent atau premise. Pernyataan “y is B” disebut consequent (kesimpulan). Sebuah contoh dari aturan fuzzy dengan operator And adalah:

“If C2H2 /C2H4 is low And CH4 /H2 is low And C2H4 /C2H6 is low then fault is normal”

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan kebalikan dari proses fuzzifikasi, yaitu mengubah himpunan fuzzy keluaran menjadi keluaran tegas (crisp). Ada beberapa metode defuzzifikasi pada komposisi aturan Mamdani, diantaranya yaitu metode COA, bisektor, MOM, LOM, dan SOM.

1. Metode COA

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil titik pusat daerah fuzzy. Secara umum dirumuskan pada persamaan 4 atau 5.

$$z = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \tag{4}$$

atau

$$z = \frac{\sum_{j=1}^n z_j \mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \tag{5}$$

2. Bisektor

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain fuzzy yang memiliki nilai keanggotaan separo dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah fuzzy. Secara umum dituliskan pada persamaan 6.

$$\int_{\alpha}^{z^{BOA}} \mu(z)dz = \int_{z^{BOA}}^{\beta} \mu(z)dz \tag{6}$$

3. MOM

Pada solusi ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

4. LOM

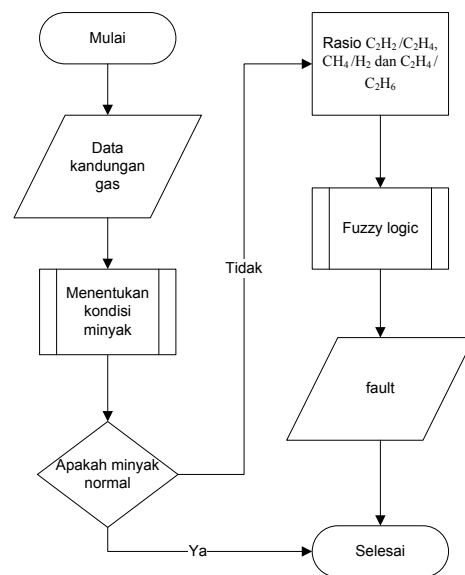
Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

5. SOM

Pada metode ini, solusi crisp diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

III. PERANCANGAN

3.1. Flowchart Penelitian



Gambar 11. Flowchart penelitian

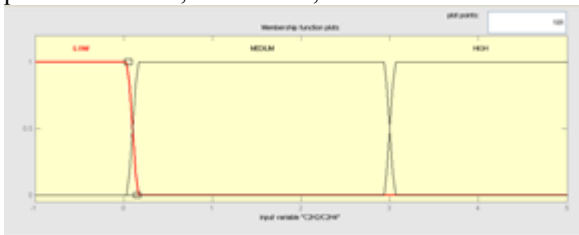
3.2. Perancangan Sistem Logika Fuzzy

Logika fuzzy dalam skripsi ini menggunakan 3 input yaitu 3 rasio gas (C2H2/C2H4, CH4/H2, C2H4/C2H6) dan satu output yaitu fault. Data yang digunakan merupakan data kandungan gas dari hasil ekstraksi gas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

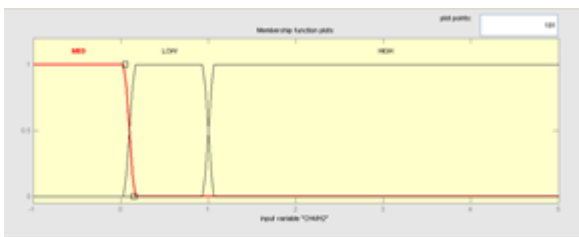
Tabel 4. Data kandungan gas

| Date | H2 | H2O | CO2 | CO | C2H4 | C2H6 | CH4 | C2H2 | TDCG |
|-----------|-------|-------|---------|--------|-------|--------|--------|------|--------|
| | 100 | 35 | 2500 | 350 | 50 | 65 | 120 | 35 | 720 |
| | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| 13-Apr-09 | 20.84 | 35.49 | 3097.30 | 61.55 | 10.25 | 18.47 | 14.38 | 0.01 | 125.50 |
| 19-May-09 | 19.53 | 30.18 | 2942.48 | 56.31 | 9.10 | 18.85 | 17.98 | 0.01 | 121.77 |
| 9-Jun-09 | 34.51 | 18.54 | 3232.46 | 75.23 | 9.82 | 19.08 | 21.85 | 0.01 | 160.61 |
| 7-Jul-09 | 34.03 | 22.09 | 3298.44 | 74.71 | 9.05 | 19.49 | 23.12 | 0.01 | 160.41 |
| 18-Aug-09 | 34.19 | 21.95 | 3546.64 | 77.43 | 6.94 | 19.66 | 28.21 | 0.01 | 166.43 |
| 28-Sep-09 | 35.17 | 16.04 | 3664.07 | 90.76 | 6.98 | 21.51 | 28.92 | 0.01 | 183.36 |
| 29-Oct-09 | 37.56 | 15.41 | 4032.05 | 96.01 | 7.45 | 27.28 | 29.63 | 0.01 | 197.94 |
| 3-Feb-10 | 1.41 | 26.57 | 868.33 | 26.90 | 1.35 | 2.43 | 1.01 | 0.01 | 33.11 |
| 3-Mar-10 | 3.78 | 16.73 | 1198.25 | 52.59 | 1.69 | 1.72 | 6.03 | 0.01 | 65.83 |
| 7-Apr-10 | 6.75 | 23.43 | 2020.25 | 93.51 | 2.84 | 9.47 | 9.22 | 0.12 | 121.91 |
| 9-May-10 | 5.76 | 36.04 | 2929.45 | 229.79 | 6.04 | 6.81 | 19.31 | 0.01 | 267.73 |
| 27-May-10 | 6.02 | 42.67 | 3491.78 | 324.92 | 10.78 | 8.54 | 18.52 | 0.01 | 368.79 |
| 2-Jun-10 | 5.65 | 33.66 | 3350.49 | 333.57 | 10.22 | 8.75 | 17.75 | 0.01 | 375.93 |
| 27-Sep-10 | 9.59 | 31.88 | 3405.58 | 314.77 | 21.46 | 181.90 | 114.23 | 0.01 | 641.96 |
| 28-Sep-10 | 8.63 | 30.65 | 3405.55 | 311.82 | 21.86 | 190.62 | 114.25 | 0.01 | 647.19 |
| 12-Jan-11 | 4.00 | 28.00 | 2826.00 | 274.00 | 26.00 | 462.00 | 139.00 | 0.4 | 905.40 |
| 20-Jan-11 | 4.00 | 28.00 | 2924.00 | 286.00 | 26.00 | 505.00 | 149.00 | 0.4 | 970.40 |
| 21-Jan-11 | 4.00 | 33.00 | 2837.00 | 264.00 | 27.00 | 501.00 | 134.00 | 0.4 | 930.40 |
| 27-Jan-11 | 4.00 | 36.00 | 2995.00 | 301.00 | 28.00 | 511.00 | 153.00 | 0.4 | 997.40 |
| 8-Feb-11 | 4.00 | 26.00 | 2853.00 | 274.00 | 27.00 | 549.00 | 142.00 | 0.4 | 996.40 |

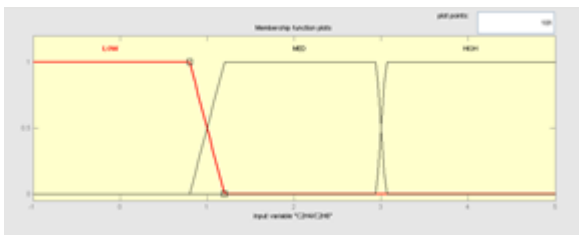
Bentuk membership function input dapat dilihat pada Gambar 12, Gambar 13, dan Gambar 14.



Gambar 12. Membership function C2H2/C2H4

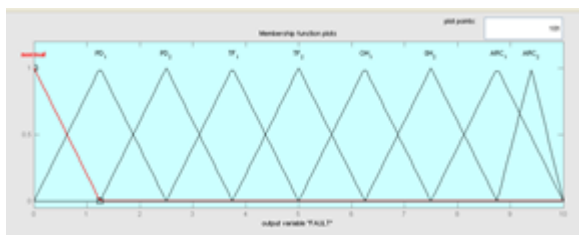


Gambar 13. Membership function CH4/H2



Gambar 14. Membership function C2H4/C2H6

Bentuk membership function output dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Membership function output

Perancangan ini menggunakan 9 rule yang didasarkan dari ketentuan kode roger rasio yaitu:

1. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is low then fault is normal.
2. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is medium and C2H4/C2H6 is low then fault is PD_1.
3. If C2H2/C2H4 is medium and CH4/H2 is medium and C2H4/C2H6 is low then fault is PD_2.
4. If C2H2/C2H4 is not low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is not low then fault is ARC_1.
5. If C2H2/C2H4 is medium and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is high then fault is ARC_2.
6. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is low and C2H4/C2H6 is medium then fault is TF_1.
7. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is low then fault is TF_2.
8. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is medium then fault is OH_1.
9. If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is high then fault is OH_2.

IV. HASIL PENELITIAN

Kondisi minyak keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 5. Kondisi minyak ditentukan berdasarkan jumlah Total Dissolved Combustible Gas (TDCG). Kondisi minyak dikatakan normal apabila jumlah combustible gas 720 ppm.

Tabel 6. menunjukkan fault yang terjadi secara keseluruhan pada minyak trafo yaitu thermal fault 150-300°C. Kenaikan nilai individual gas harus diperhatikan untuk memantau gas apakah yang dominan hadir pada minyak trafo seperti pada Gambar16.

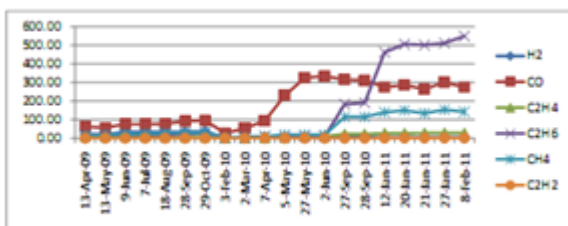
Walaupun CO2 bukan merupakan combustible gas namun tingkat kenaikannya

Tabel 5. Kondisi minyak

| Tanggal | TDCG (ppm) | Kondisi minyak |
|-----------|------------|----------------|
| 13-Apr-09 | 125.50 | Kondisi 1 |
| 13-May-09 | 121.77 | Kondisi 1 |
| 9-Jun-09 | 160.51 | Kondisi 1 |
| 7-Jul-09 | 160.41 | Kondisi 1 |
| 18-Aug-09 | 166.43 | Kondisi 1 |
| 28-Sep-09 | 183.35 | Kondisi 1 |
| 29-Oct-09 | 197.94 | Kondisi 1 |
| 3-Feb-10 | 33.11 | Kondisi 1 |
| 2-Mar-10 | 65.83 | Kondisi 1 |
| 7-Apr-10 | 121.91 | Kondisi 1 |
| 5-May-10 | 267.73 | Kondisi 1 |
| 27-May-10 | 368.79 | Kondisi 1 |
| 2-Jun-10 | 375.93 | Kondisi 1 |
| 27-Sep-10 | 641.96 | Kondisi 1 |
| 28-Sep-10 | 647.19 | Kondisi 1 |
| 12-Jan-11 | 905.40 | Kondisi 2 |
| 20-Jan-11 | 970.40 | Kondisi 2 |
| 21-Jan-11 | 930.40 | Kondisi 2 |
| 27-Jan-11 | 997.40 | Kondisi 2 |
| 8-Feb-11 | 996.40 | Kondisi 2 |

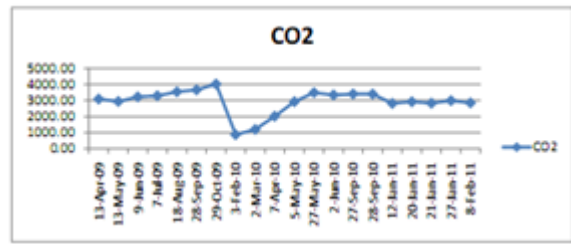
Tabel 6. Fault pada minyak trafo

| Tanggal | TDCG (ppm) | Kondisi minyak | Rasio perbandingan gas | Fault |
|-----------|------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| 12-Jan-11 | 905.40 | Kondisi 2 | 0 2 0 | Thermal fault 150-300°C |
| 20-Jan-11 | 970.40 | Kondisi 2 | 0 2 0 | Thermal fault 150-300°C |
| 21-Jan-11 | 930.40 | Kondisi 2 | 0 2 0 | Thermal fault 150-300°C |
| 27-Jan-11 | 997.40 | Kondisi 2 | 0 2 0 | Thermal fault 150-300°C |
| 8-Feb-11 | 996.40 | Kondisi 2 | 0 2 0 | Thermal fault 150-300°C |



Gambar 16. Kenaikan combustible gas

juga perlu diperhatikan karena berpengaruh pada cellulose. Tingkat kenaikan gas CO2 dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Kenaikan CO2

4.1. Perhitungan Roger rasio

Rasio roger membentuk tiga buah perbandingan gas yaitu C2H2 /C2H4, CH4 /H2 dan C2H4 /C2H6. Data pada tanggal 12 Januari menunjukkan bahwa nilai C2H2 = 0,4, C2H4 = 26, CH4 = 139, H2 = 4 dan C2H6 = 462.

$$\frac{C2H2}{C2H4} = \frac{0,4}{26} = 0,0153$$

$$\frac{CH4}{H2} = \frac{139}{4} = 34,75$$

$$\frac{C2H4}{C2H6} = \frac{26}{462} = 0,0562$$

Rasio yang muncul dari interpretasi data adalah 020 yang menunjukkan bahwa gangguan minyak berupa thermal 150-300°C.

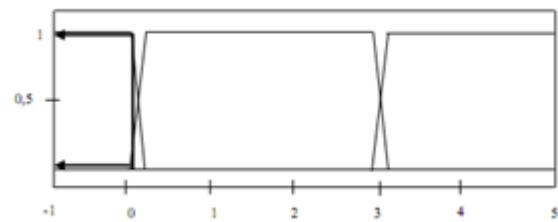
4.2. Perhitungan Fuzzy Logic

Jika input rasio C2H2/C2H4 adalah 0.0148, maka derajat keanggotaan pada tiap-tiap himpunan:

$$\mu_{low}[0.0148]=0.9013$$

$$\mu_{medium}[0.0148]=0.098$$

$$\mu_{high}[0.0148]=0$$



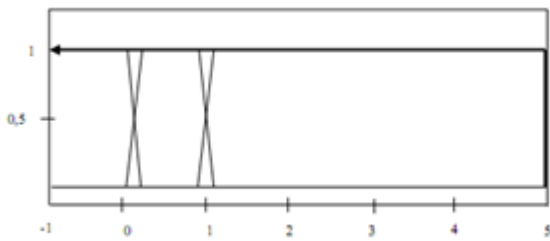
Gambar 18. Derajat keanggotaan C2H2/C2H4

Jika input rasio CH4/H2 adalah 35.5 maka nilai derajat keanggotaan dari tiap-tiap himpunan:

$$\mu_{medium} [35,5]=0$$

$$\mu_{low} [35,5]=0$$

$$\mu_{high}[35,5]=1$$



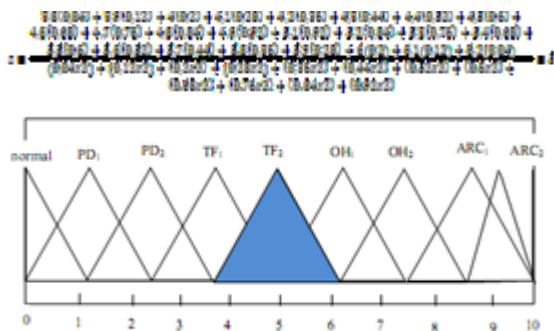
Gambar 20. Derajat keanggotaan C2H4/C2H6

Setelah dilakukan fuzzifikasi, selanjutnya dilakukan inferensi. Nilai input fuzzy dipetakan ke output sesuai dengan aturan fuzzy yang telah dibuat. Berdasarkan input fuzzy, aturan rule yang sesuai adalah aturan ketujuh *If C2H2/C2H4 is low and CH4/H2 is high and C2H4/C2H6 is low then fault is TF_2.*

$$= \min(\mu_{low}[0.0148]; \mu_{high}[5], \mu_{low}[0.049])$$

$$= \min(0.9013; 1; 1)$$

$$= 0.9013$$



Gambar 21. Defuzzifikasi

V. KESIMPULAN

1. Logika fuzzy mempercepat proses interpretasi data dibandingkan metode konvensional karena dalam metode konvensional dibutuhkan tahap perhitungan manual dan penyocokan kode sebelum menemukan fault yang terjadi.
2. Logika fuzzy membantu dalam menentukan fault yang terjadi ketika kode rasio tidak ditemukan.
3. Tipe fault yang terjadi berdasarkan proses DGA adalah gangguan thermal 150-300°C dengan kode roger rasio 020.
4. Faktor-faktor kegagalan minyak trafo adalah adanya overheat pada inti besi karena konsentrasi fluks, overheat pada besi karena eddy current, adanya koneksi yang buruk pada lilitan, dan gangguan pada isolasi kertas.
5. Kondisi minyak dari tanggal 13 April 2009- 28 September 2010 berada pada kondisi 1, sedangkan pada tanggal 12 Januari 2010- 8 Februari 2011 berada pada kondisi 2.
6. Konsentrasi gas yang mengalami peningkatan tinggi adalah C2H6. C2H6 mengindikasikan adanya pemanasan pada minyak trafo.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Naba, Agus, Dr. Belajar Cepat Fuzzy Logic Menggunakan Matlab. 2009. Yogyakarta: Andi Publisher.
- [2] Sayogi, Hanung. Analisis Mekanisme Kegagalan Isolasi Pada Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Berpolaritas Berbeda Pada Jarum-Bidang. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [3] CS, Chang.CW, Lim.Q, Su.Fuzzy-Neural Approach For Dissolved Gas Analysis Of Power Transformer Incipient Faults. 2004.Singapura:National University of Singapore.
- [4] Suryadiman, Muhammad. Haryono, Iskak. Treatment Minyak Transformator 2000 KVA TR 302 Instalasi Radiometalurgi PTBN – Batan.2008. Serpong : PTBN-BATAN.
- [5] IEEE Std C57.104-1991.
- [6] Syakur, Abdul. Facta, Mochamad. Perbandingan Tegangan Tembus Media Solasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. 2005. Semarang : FT. UNDIP.
- [7] Asyari, Hasyim, Jatmiko. Pengaruh Perubahan Suhu Terhadap Tegangan Tembus pada Bahan Isolasi Cair. 2004. Jurnal teknik elektro dan komputer emitor vol. 4, no. 2.
- [8] Wang, Zhenyuan. Artificial Intelligence Applications in the Diagnosis of Power Transformer Incipient Faults. 2000. Virginia : Dissertation submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [9] Muhammad, N,A. Thung, B,T. BlackBurn, T,R. Lai, K,X. Comparative Study and Analysis of DGA Methods for Transformer Mineral Oil. Australia : The University of New South Wales.
- [10] Panduan Pemeliharaan Trafo Tenaga, Jakarta : PT PLN P3B, 2003
- [11] Faisal, Muhammad A.R.. Makalah Seminar Kerja Praktek: Analisa Jenis Kegagalan Transformer Berdasarkan Hasil Uji Dga Dengan Metode Roger’s Ratio Pltu Tambak Lorok. 2010.Semarang:FT UNDIP.
- [12] Bhala, Deepika. Bansal, RajKumar. Gupta, Hari Om. Transformer incipient fault diagnosis based on DGA using fuzzy logic.2011.New Delhi:India.
- [13] _____.Facilities, Instruction, Standard and Technique volume 3-31.2003. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation.
- [14] _____.Facilities, Instruction, Standard and Technique volume 3-30.2003. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation.

- [15] ABB TrafoServ HandBook LOW-Aug06.
- [16] <http://panellistrikindo.blogspot.com/2010/05/pengujian-karakteristik-minyak-isolasi.html> (URL dikunjungi pada 29 Juli 2011)
- [17] Gill, Paul. *Electrical Equipment Maintenance and Testing (Second Edition)*. 2009. New York : CRC Press.
- [18] Sutikno, Perbandingan Metode Defuzzifikasi Aturan Mamdani Pada Sistem Kendali Logika Fuzzy (Studi Kasus Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC). 2000. Makalah Seminar Tugas Akhir : Universitas Diponegoro.
- [19] Liao, Rui-jin. Yang, Li-jun. Li, Jian. Grzybowski, Stanislaw. *Aging Condition Assessment of Transformer Oil-paper Insulation Model based on Partial Discharge Analysis*. 2011. IEEE Transaction on dielectric and electrical insulation : vol. 8.
- [20] Zuhail. *Dasar Tenaga Listrik*. 1980. ITB : Bandung.
- [21] Bahri, Syamsul. Samdara, Rida. Zaman, Fairus. *Penggunaan Metode Logika Fuzzy Untuk Memprediksi Jumlah Kendaraan Bermotor Berdasarkan Tingkat Kebisingan Lalu Lintas, Lebar Jalan Dan Faktor Koreksi*. 2007. Jurnal gradien : Universitas Bengkulu.
- [22] Kastaman, Roni. Kendarto, Dwi Rustam. Nugraha, Sandhi. *Penggunaan metode fuzzy dalam penentuan lahan kritis dengan menggunakan sistem informasi geografis di daerah subdas cipeles*. 2006. Universitas Diponegoro.
- [23] Aragón-Patil, J. Fischer, M. Tenbohlen, S. *Improvement of dissolved gas analysis (DGA) by means of experimental investigations of generated fault gases and a fuzzy logic based interpretation scheme*. Jerman.
- [24] Suwarno. *Dissolved Gas Analysis of Transformer Oils: Effects of electric arc*. 2006. Proceeding : Institute Teknologi Bandung.
- [25] Kohtoh, Masanori. Ueta, Genyo. Okabe, Shigemitsu. *Transformer Insulating Oil Characteristic Changes Observed Using Accelerated Degradation in Consideration of Field Transformer Conditions*. 2010. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation: vol. 7
- [26] Ratnawati, Dwi Ana. *Sistem Kendali Cerdas*. 2011. Yogyakarta: Graha Ilmu.