



**ANALISIS KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
150 kV MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS*
(*DGA*) DAN *FUZZY LOGIC* PADA GARDU INDUK
WILAYAH SIDOARJO**

SKRIPSI

Oleh:

Yustinus Pranata Sinuhaji

NIM 071910201083

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**



**ANALISIS KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
150 kV MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS*
(*DGA*) DAN *FUZZY LOGIC* PADA GARDU INDUK
WILAYAH SIDOARJO**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi syarat-syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

Yustinus Pranata Sinuhaji

NIM 071910201083

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2012**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Tuhanku Yesus Kristus yang selalu menjaga dan memberi begitu banyak berkat dalam kehidupanku terutama pada saat kuliah di Universitas Jember;
2. Bapak saya Tammat Sinuhaji dan mamak Maryam Br. Tarigan yang telah memberikan segalanya, yang selalu mendoakan, mencurahkan kasih sayang, memberikan perhatian dan memberi semangat yang tiada hentinya;
3. Saudara-saudaraku yang tercinta Kak Shinta Fransiska Br. Sinuhaji S.Pd, Abang Andika Frana Sinuhaji, S.E dan Abang Dasanov Prasetya Sinuhaji yang telah memberikan nasehat dan memberikan semangat untuk mengerjakan skripsi ini;
4. Keluarga Besar IKMK (Ikatan Keluarga dan Mahasiswa Karo) Jember, yang telah memberikan banyak nasehat dan semangat selama kuliah di Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Guru-guru dari TK sampai PT yang terhormat, yang telah membagikan ilmu dengan penuh rasa sabar;
6. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

“Takut akan Tuhan adalah permulaan pengetahuan”

(Amsal 1:7)

“Jenius adalah 1% inspirasi dan 99% keringat. Tidak ada yang dapat menggantikan kerja keras. Keberuntungan adalah sesuatu yang terjadi ketika kesempatan bertemu dengan kesiapan”

(Thomas Alfa Edison)

“Berusahalah untuk tidak menjadi manusia yang berhasil tapi berusahalah menjadi manusia yang berguna”

(Albert Einstein)

“Mela mulih adi la ruluh”

(Mahasiswa Karo Jember)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Yustinus Pranata Sinuhaji

NIM : 071910201083

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul : *Analisis Keadaan Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (Dga) Dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya tiruan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Februari 2012

Yang menyatakan,

Yustinus Pranata Sinuhaji

NIM 071910201083

SKRIPSI

**ANALISIS KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA
150 kV MENGGUNAKAN METODE *DISSOLVED GAS ANALYSIS*
(*DGA*) DAN *FUZZY LOGIC* PADA GARDU INDUK
WILAYAH SIDOARJO**

Oleh

**Yustinus Pranata Sinuhaji
NIM 071910201083**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dedy Setia Kurniawan, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Azmi Saleh, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul *Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo* telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Selasa

Tanggal : 31 Januari 2012

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Anggota

Dedy Kurnia Setiawan, S.T.,M.T
NIP 19800610 200501 1 003

Dr. Azmi Saleh, S.T.,M.T
NIP 1971 061419972 1 001

Dosen Penguji 1

Dosen Penguji 2

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

H.R.B.Moch. Gozali, S.T.,M.T
NIP 19690608199903 1 002

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Ir. Widyono Hadi, M.T.
NIP 19610414 198902 1 001

Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Wilayah Sidoarjo (150 kV Power Transformer Oil Isolation Analysis Using Dissolved Gas Analysis (DGA) Method And Fuzzy Logic In Sidoarjo District Substation)

Yustinus Pranata Sinuhaji

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

Insulating oil pick the many standards for testing to test the insulating oil insulation either new or have been used (maintenance), such as breakdown voltage, dielectric losses, relative permittivity, and testing by the method of DGA (Dissolved Gas Analysis). DGA is a method of testing performed to test the insulating oil state by taking samples from the unit transformer insulating oil to determine the types of gas dissolved in transformer insulating oil. DGA is one step preventive maintenance but object insulating oil which is done only consider the results TDCG (Total Dissolved Combustible Gas) without considering other types of gas contained in transformer insulating oil such as hydrogen gas, methane, ethane, ethylene, acetylene, carbon dioxide, and carbon monoxide . Insulating oil situation will be resolved by using Fuzzy Logic. Fuzzy logic analysis performed for insulating oil state would be more accurate than if done by simply analyzing the gas concentration TDCG.

Key words : *transformer oil, insulation, preventive maintenance, DGA fuzzy logic, TDCG, gas.*

RINGKASAN

Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Induk Wilayah Sidoarjo; Yustinus Pranata Sinuhaji, 071910201083; 2012; 81 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

DGA merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi transformator, dari hasil tes DGA tersebut akan dapat disimpulkan dan diprediksikan jenis gangguan yang mungkin terjadi pada transformator dan dapat segera dilakukan tindakan pencegahan kegagalan transformator. Analisis hasil DGA yang dilakukan oleh PLN hanya mempertimbangkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) atau total gas terlarut yang mudah terbakar untuk menentukan keadaan transformator tanpa mempertimbangkan jenis dan konsentrasi gas-gas lain yang terkandung dalam minyak isolasi transformator seperti gas hidrogen, metana, etana, etilena, asetilena, karbon dioksida, dan karbon monoksida.

Dalam penelitian ini, data DGA yang diperoleh akan dianalisis dengan menggunakan logika fuzzy untuk mengetahui keadaan minyak isolasi setiap transformator yang akan diuji. Langkah langkah yang digunakan dalam membangun sistem logika fuzzy untuk menentukan keadaan minyak isolasi terdiri dari 4 langkah yaitu fuzzyfikasi, menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*), pembuatan aturan (*rules*), dan defuzzyfikasi. Fungsi keanggotaan disesuaikan dengan standar *IEEE* yang digunakan PLN untuk setiap konsentrasi gas yang terdeteksi pada data DGA.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis keadaan minyak isolasi pada berdasarkan kandungan gas yang terlarut pada minyak isolasi dan dapat menentukan

keadaan minyak isolasi secara akurat dengan menggunakan metode DGA dan logika fuzzy.

Hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh dengan menggunakan logika fuzzy akan dibandingkan dengan karakteristik tegangan tembusnya untuk membuktikan keakuratan hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh menggunakan logika fuzzy, dimana untuk derajat keanggotaan 0-20 maka keadaan minyak isolasi berada pada keadaan normal, untuk derajat keanggotaan 21-60 keadaan minyak isolasi agak buruk sehingga harus segera dilakukan perbaikan seperti pencucian minyak (purification/filter) untuk mencegah kegagalan transformator, dan untuk derajat keanggotaan diatas 60 keadaan minyak isolasi berada pada tingkat berbahaya sehingga harus dilakukan penggantian minyak isolasi. Sedangkan untuk karakteristik tegangan tembus akan disesuaikan dengan *Standard IEC 156*, dimana untuk tegangan tembus diatas 50 kV, keadaan minyak isolasi transformator “bagus”, untuk minyak isolasi yang tegangan tembusnya berada diantara 40-50 kV, keadaan minyak isolasi “kurang bagus/agak buruk”, dan untuk minyak isolasi yang tegangan tembusnya dibawah 30 kV maka keadaan minyak isolasi “tidak layak” dan harus diganti dengan minyak isolasi yang baru.

Dalam penelitian ini 5 transformator yang berada pada wilayah Sidoarjo akan diuji keadaan minyak isolasinya dengan menggunakan logika fuzzy dan keuratannya akan dibandingkan dengan hasil tegangan tembusnya, yaitu untuk Transformator 1 Babadan keadaan minyak isolasi yang diperoleh menggunakan logika fuzzy berada pada derajat keanggotaan 12,41, dan tegangan tembusnya adalah 68,4 kV, yang sama-sama berada pada keadaan normal, Transformator 5 Buduran derajat keanggotaanya 22.42, dan tegangan tembusnya 45,2 dimana keadaan minyak isolasi taransformator 5 Buduran ini berada pada keadaan perbaikan, untuk Transformator 2 Buduran menghasilkan derajat keanggotaan 29,48, dan tegangan tembusnya adalah 43,6 kV, dimana transformator ini juga berada pada keadaan perbaikan, untuk Transformator 1 Waru, keadaan minyak isolasi yang diperoleh dengan menggunakan

logika fuzzy berada pada derajat 42,33, dan tegangan tembusnya adalah 41,3 kV dari hasil logika fuzzy dan karakteristik tegangan tembus untuk minyak isolasi pada transformator 1 Waru ini maka keadaan minyak isolasinya berada pada keadaan perbaikan, dan untuk transformator yang kelima yaitu Transformator 3 Babadan keadaan minyak isolasinya berada pada 43,6 dan tegangan tembusnya adalah 40,1 kV, dari data tersebut maka keadaan minyak isolasi untuk Transformator 3 Babadan berada pada keadaan perbaikan.

Dari data hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh dari data DGA yang diolah menggunakan logika fuzzy yang dibandingkan dengan karakteristik tegangan tembusnya membuktikan bahwa hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh menggunakan metode DGA dan Logika Fuzzy cukup akurat dalam menentukan keadaan minyak isolasi transformator, hal ini bisa dikatakan karena hasil logika fuzzy untuk menentukan keadaan minyak isolasi sesuai dengan hasil karakteristik tegangan tembus minyak isolasi transformator, dengan ketentuan semakin rendah nilai hasil keadaan minyak isolasi melalui DGA dan fuzzy (semakin baik/bagus keadaan minyak isolasi), maka semakin tinggi nilai tegangan tembusnya.

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul *Analisis Keadaan Minyak Isolasi Transformator Daya 150 kV Menggunakan Metode Dissolved Gas Analysis (DGA) dan Fuzzy Logic Pada Gardu Wilayah Sidoarjo*. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak dan oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Elektro Universitas Jember.
2. Bapak Dedy Kurnia Setiawan, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Dr. Azmi Saleh, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, tenaga dan perhatiannya dalam penyelesaian skripsi ini sehingga skripsi ini selesai dengan baik;
3. Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T dan Bapak H.R.B.Moch. Gozali, S.T., M.T selaku dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu untuk menguji skripsi ini serta memberikan saran dan masukan sehingga skripsi ini dapat menjadi lebih baik;
4. Bapak saya Tammam Sinuhaji dan mamak saya Maryam Br. Tarigan serta saudara-saudaraku kak siska, bang ucok dan bang andika, yang selalu mendoakan, mencurahkan kasih sayang, memberikan perhatian dan memberi semangat yang tiada hentinya untuk menyelesaikan skripsi ini;
5. Ruth Debora Tarigan, S.Farm, yang selalu setia menemani dan memberi semangat dan dukungan dari awal sampai selesainya skripsi ini;

6. Keluarga Besar IKMK yang telah banyak memberikan nasehat dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini;
7. Mahasiswa karo di Jember Perpulungenta Purba, Cornelius Purba, Leo Ginting, Aganatius Prangin-angin, Gensi Ginting, Icha Pinem, Otniel bangun, Okky Kaban, Mantis Kemit, Darul Ginting, Fajar Tarigan yang selalu memberi semangat yang selalu member semangat dan telah menjadi keluargaku di Jember;
8. Rekan-rekan di Project-D yang telah member banyak bantuan dan msukan untuk menyelesaikan skripsi ini;
9. Keluarga Besar Telek'07 (Teknik Elektro 2007) yang selalu memberi semangat untuk menyelesaikan skripsi ini dari awal sampai selesainya skripsi ini;
10. Semua Dosen Teknik Elektro serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis juga menerima segala saran dan kritik yang membangun dari semua pihak guna penyempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap semoga bermanfaat bagi kita semua. Amin.

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|---|---------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO | iii |
| PERNYATAAN | iv |
| HALAMAN PEMBIMBING | v |
| HALAMAN PENGESAHAN | vi |
| ABSTRAK | vii |
| RINGKASAN | viii |
| PRAKATA | xi |
| DAFTAR ISI | xiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.4 Tujuan | 3 |
| 1.5 Manfaat | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Transformator | 5 |
| 2.1.1 Jenis transformator | 6 |
| 2.1.2 Bagian–Bagian Transformator dan Fungsinya | 6 |
| 2.2 Minyak Isolasi Transformator | 12 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.1 Minyak Isolasi Mineral | 13 |
| 2.2.2 Minyak Isolasi Sintesis | 13 |
| 2.3 Gas-gas Penyebab Gangguan | 14 |
| 2.4 Jenis-jenis Kegagalan Transformator Akibat Kontaminasi Minyak Isolasi | 15 |
| 2.5 DGA (<i>Dissolved Gas Analysis</i>) | 16 |
| 2.6 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator | 18 |
| 2.7 Logika Fuzzy | 20 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | 22 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 22 |
| 3.2 Tahapan Penelitian | 22 |
| 3.3 Pengumpulan Data | 24 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | 33 |
| 4.1 Sistem Logika Fuzzy Untuk Menentukan Keadaan Minyak Isolasi..... | 33 |
| 4.1.1 Fuzzyfikasi | 33 |
| 4.1.2 Fungsi Keanggotaan (Membership Function) | 33 |
| 4.1.3 Penyusunan Aturan (<i>Rules</i>) | 40 |
| 4.1.4 Deffuzzyfikasi | 49 |
| 4.1.5 Pengujian Aturan (<i>Rule</i>) | 52 |
| 4.2 Hasil Keadaan Minyak Isolasi Transformator melalui Logika Fuzzy dengan Hasil Tegangan Tembusnya | 61 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN | 70 |
| 5.1 Kesimpulan | 70 |
| 5.2 Saran | 70 |
| DAFTAR PUSTAKA | 71 |
| LAMPIRAN | 72 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|--|---------|
| 1. Data DGA Transformator 1 Babadan | 72 |
| 2. Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 1 Babadan | 73 |
| 3. Data DGA Transformator 3 Babadan | 74 |
| 4. Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 3 Babadan | 75 |
| 5. Data DGA Transformator 2 Buduran | 76 |
| 6. Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 2 Buduran | 77 |
| 7. Data DGA Transformator 5 Buduran | 78 |
| 8. Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 5 Buduran | 79 |
| 9. Data DGA Transformator 1 Waru | 80 |
| 10. Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 1 Waru | 81 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Arus bolak balik mengelilingi inti besi | 5 |
| 2.2 Prinsip kerja transformator | 5 |
| 2.3 Inti Besi | 6 |
| 2.4 Belitan transformator | 7 |
| 2.5 Bushing | 7 |
| 2.6 Kertas isolasi pada bushing (oil impregnated paper bushing) | 8 |
| 2.7 Konservator | 9 |
| 2.8 Silica gel | 10 |
| 2.9 Konstruksi konservator dengan <i>rubber bag</i> | 10 |
| 2.10 <i>Neutral grounding resistance (NGR)</i> | 12 |
| 2.11 Alat Uji <i>Dissolved Gas Analysis</i> | 16 |
| 2.12 Skema <i>chromatography</i> | 17 |
| 3.1 Diagram alur penelitian penelitian | 22 |
| 3.2 Diagram kerja <i>Gas Chromatograph</i> | 23 |
| 3.3 Hasil tes DGA PLN | 25 |
| 3.4 Kurva Trapesium | 26 |
| 4.1 Fungsi keanggotaan TDCG pada Matlab | 33 |
| 4.2 Fungsi keanggotaan nitrogen pada Matlab | 35 |
| 4.3 Fungsi keanggotaan hidrogen pada Matlab | 35 |
| 4.4 Fungsi keanggotaan metana pada Matlab | 36 |
| 4.5 Fungsi keanggotaan etana pada Matlab | 36 |
| 4.6 Fungsi keanggotaan asetilena pada Matlab | 37 |

| | | |
|------|---|----|
| 4.7 | Fungsi keanggotaan karbon monoksida pada Matlab | 38 |
| 4.8 | Fungsi keanggotaan karbon monoksida pada Matlab | 38 |
| 4.9 | Fungsi keanggotaan etilena pada Matlab | 39 |
| 4.10 | Fungsi Keanggotaan keluaran keadaan minyak isolasi | 49 |
| 4.11 | Pengujian aturan 1 | 51 |
| 4.12 | Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Babadan | 60 |
| 4.13 | Hasil keluaran logika fuzzy untuk transformator 3 Babadan | 62 |
| 4.14 | Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 2 Buduran | 63 |
| 4.15 | Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 5 Buduran | 65 |
| 4.16 | Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Waru | 67 |

DAFTAR TABEL

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi | 18 |
| 2.2 Keadaan Minyak isolasi dengan Kandungan Gas (<i>Std. IEEE</i>) | 18 |
| 2.3 Standar IEC 156 karakteristik tegangan tembus minyak isolasi | 19 |
| 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian | 21 |
| 3.2 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG <i>Sangat Tinggi</i> | 28 |
| 3.3 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG <i>Tinggi</i> | 29 |
| 3.4 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG <i>Normal</i> | 30 |
| 4.1 Data DGA Transformator 1 Babadan | 60 |
| 4.2 Data DGA Transformator 2 Babadan | 61 |
| 4.3 Data DGA Transformator 2 Buduran | 63 |
| 4.4 Data DGA Transformator 5 Buduran | 65 |
| 4.5 Data DGA Transformator 1 Waru | 66 |
| 4.6 Hubungan keadaan minyak isolasi DGA-Fuzzy dengan Tegangan Tembus | 68 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fungsi utama sistem tenaga listrik adalah untuk memenuhi kebutuhan energi listrik setiap konsumen secara terus-menerus. Transformator salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang dapat menjaga agar kebutuhan listrik masyarakat dapat terpenuhi secara terus-menerus, oleh karena itu transformator harus dipelihara agar dapat beroperasi secara maksimal dan jauh dari gangguan-gangguan yang dapat membuat kegagalan transformator.

Transformator adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya melalui aksi medan magnet. Transformator merupakan peralatan listrik yang penting karena berhubungan langsung dengan saluran transmisi dan distribusi listrik. Gangguan pada transformator akan menyebabkan terputusnya daya ke konsumen rumah tangga dan perusahaan. Karena transformator merupakan aset yang mahal, penggantian transformator untuk meningkatkan keandalan sistem secara ekonomis bukan pilihan yang tepat. Oleh karena itu, perawatan dan pendeteksian kerusakan transformator perlu dilakukan secara rutin agar transformator bisa bekerja sesuai dengan masa pemakaian maksimumnya

Setelah kebutuhan listrik tercukupi maka akan timbul permasalahan lain yaitu dalam perlindungan (proteksi) peralatan-peralatan yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik maupun peralatan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik tersebut.

Untuk pemeliharaan transformator daya khususnya pada minyak isolasi pengujian dilakukan untuk mengetahui keadaan ataupun kemampuan minyak isolasi sebagai penghantar dan sebagai isolasi. PLN memiliki banyak standar untuk pengujian untuk menguji minyak isolasi baik isolasi yang masih baru ataupun yang telah digunakan (pemeliharaan), misalnya tegangan tembus, rugi-rugi dielektrik, permitivitas relatif, dan pengujian dengan metode DGA (*Dissolved Gas Analysis*). DGA merupakan metode pengujian yang dilakukan untuk menguji keadaan minyak isolasi dengan mengambil sampel minyak isolasi dari unit transformator untuk mengetahui jenis-jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi transformator, dari hasil tes DGA tersebut akan dapat disimpulkan dan diprediksikan jenis gangguan yang mungkin terjadi pada transformator dan dapat segera dilakukan tindakan pencegahan kegagalan transformator. Dengan kata lain pengujian DGA merupakan salah satu langkah perawatan preventif (*preventive maintenance*) yang wajib dilakukan dengan interval pengujian paling tidak satu kali dalam satu tahun.

PLN telah melakukan pengujian DGA pada setiap minyak isolasi transformator yang mereka miliki untuk mengetahui keadaan minyak isolasi pada setiap transformator, namun masih ada kekurangan pada hasil analisis yang dilakukan oleh PLN dalam menentukan keadaan minyak isolasi dan keadaan transformator, analisis hasil DGA yang dilakukan oleh PLN hanya mempertimbangkan hasil TDCG (*Total Dissolved Combustible Gas*) atau total gas terlarut yang mudah terbakar untuk menentukan keadaan transformator tanpa mempertimbangkan jenis dan konsentrasi gas-gas lain yang terkandung dalam minyak isolasi transformator seperti gas hidrogen, metana, etana, etilena, asetilena, karbon dioksida, dan karbon monoksida.

Berdasarkan latar belakang di atas pada data DGA seolah-olah keberadaan gas ini tidak mempengaruhi keadaan minyak isolasi padahal keberadaan gas-gas tersebut juga turut di uji dalam DGA. Berdasarkan hal tersebut maka penulis mengangkat topik untuk mengetahui keadaan minyak isolasi transformator dengan mempertimbangkan konsentrasi TDCG dan konsentrasi gas-gas lain yang terlarut

dalam minyak isolasi. Keadaan minyak isolasi tersebut akan diselesaikan dengan menggunakan Logika Fuzzy. Hal ini dilakukan karena penggunaan logika *fuzzy* untuk analisis keadaan minyak isolasi akan lebih akurat dibandingkan dengan jika dilakukan dengan hanya menganalisis konsentrasi gas TDCG.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas maka dapat diambil rumusan masalah antara lain:

1. Sejauh mana gas-gas yang terdeteksi dalam DGA yang terkandung dalam minyak isolasi dapat mempengaruhi kinerja sebuah transformator?
2. Bagaimana membangun sistem logika *fuzzy* untuk menentukan keadaan minyak isolasi dengan mempertimbangkan gas-gas yang terlarut dalam minyak isolasi?

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup yang akan dibatasi dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah:

1. Data gas diambil menggunakan metode DGA berdasarkan Standar IEEE yang dikeluarkan oleh PLN.
2. Tugas akhir ini hanya membahas tentang keadaan minyak isolasi transformator tidak membahas tentang tentang transformator.
3. Tugas akhir ini tidak membahas tentang struktur kimia yang terdapat pada gas-gas yang akan diteliti.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan dan penyelesaian tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis keadaan minyak isolasi pada berdasarkan kandungan gas yang terlarut pada minyak isolasi.
2. Dapat menentukan keadaan minyak isolasi secara akurat dengan menggunakan metode DGA dan logika fuzzy.

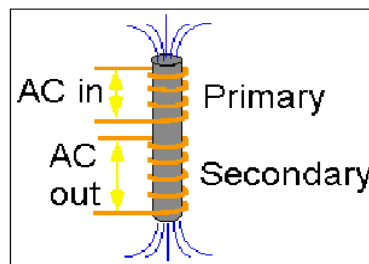
1.5 Manfaat

Metode ini merupakan tindakan preventif untuk mencegah terjadinya gangguan pada transformator dan diharapkan dapat mencegah dan mengurangi kegagalan transformator yang diakibatkan kandungan minyak isolasi oleh gas-gas lain. Dengan penggunaan logika fuzzy diharapkan hasil keadaan minyak isolasi yang akan diperoleh akan lebih cepat dan akurat.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

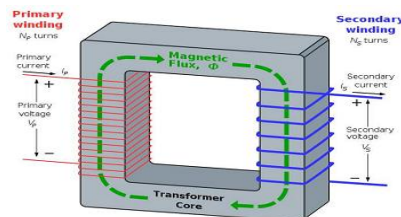
2.1 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya/tenaga dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Transformator menggunakan prinsip hukum induksi Faraday dan hukum Lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial (gambar 2.1).



Gambar 2.1. Arus bolak-balik mengelilingi inti besi

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga di dalam inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial (Gambar 2.2).



Gambar 2.2. Prinsip kerja transformator

2.1.1 Jenis Transformator

Berdasarkan fungsinya, transformator tenaga dapat dibedakan menjadi:

- Transformator pembangkit
- Transformator gardu induk / penyaluran
- Transformator distribusi

Sedangkan transformator tenaga berdasarkan fungsi penyaluran dapat dibedakan menjadi:

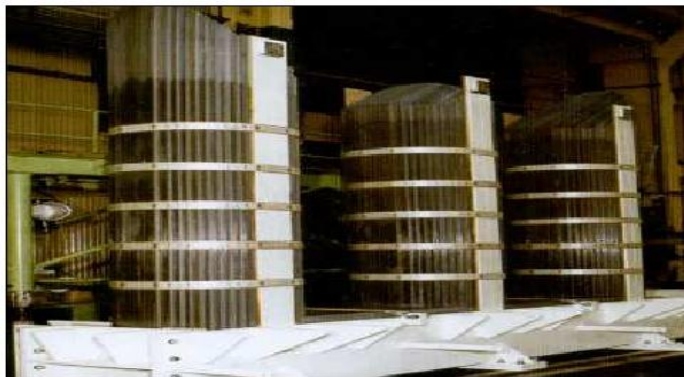
- Transformator besar
- Transformator sedang
- Transformator kecil

2.1.2 Bagian–Bagian Transformator dan Fungsinya

Transformator daya memiliki beberapa komponen penting untuk dapat beroperasi, antara lain sebagai berikut:

a. *Electromagnetic Circuit* (Inti besi)

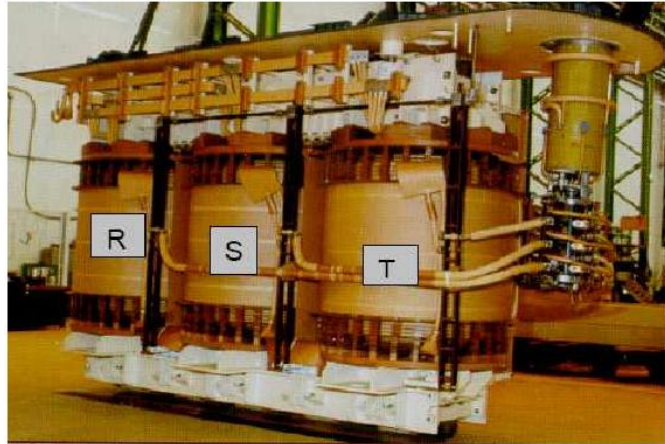
Inti besi digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan-lempengan besi tipis berisolasi yang disusun sedemikian rupa.



Gambar 2.3. Inti besi

b. *Current carrying circuit (Winding)*

Belitan terdiri dari batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 2.4. Belitan transformator

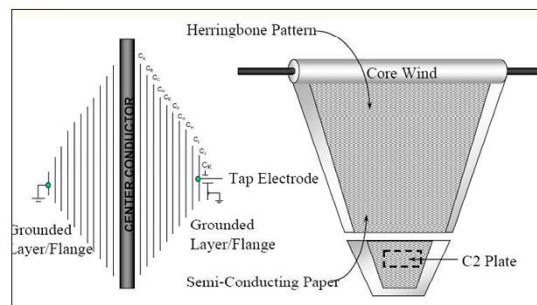
c. *Bushing*

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor *bushing* dengan *body maintank* transformator.



Gambar 2.5 Bushing

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu *oil impregnated paper* dan *resin impregnated paper*. Pada tipe *oil impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe resin *impregnated paper* isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.



Gambar 2.6 kertas isolasi pada bushing (oil impregnated paper bushing)

Terdapat jenis-jenis konduktor pada bushing yaitu *hollow conductor* dimanaterdapat besi pengikat atau penegang ditengah lubang konduktor utama, konduktor pejal dan *flexible lead*.

Klem koneksi merupakan sarana pengikat antara *stud bushing* dengan konduktor penghantar diluar bushing.

Asesoris bushing terdiri dari indikasi minyak, *seal* atau gasket dan tap pengujian. Seal atau gasket pada bushing terletak dibagian bawah *mounting flange*.

d. Pendingin

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, losses pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.

Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan

akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

e. Konservator (*Oil preservation & expansion*)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu.



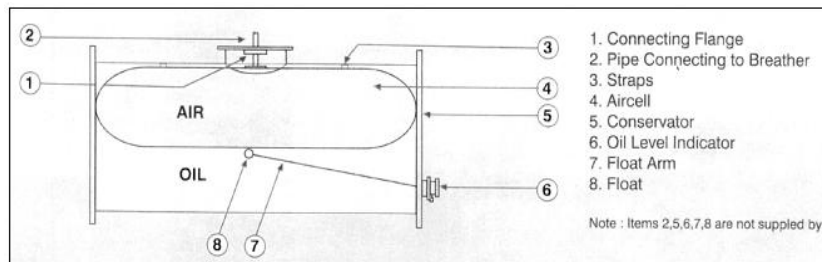
Gambar 2.7 Konservator

Seiring dengan naik turunnya volume minyak dikonservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara didalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel.



Gambar 2.8 Silica gel

Untuk menghindari agar minyak transformator tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan *breather bag/rubber bag*, yaitu sejenis balon karet yang dipasang didalam tangki konservator (SPLN, 2007).



Gambar 2.9 Konstruksi konservator dengan *rubber bag*

f. Dielektris (Minyak isolasi transformator & Isolasi kertas)

Minyak isolasi transformator Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi transformator merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.

g. Kertas isolasi transformator

Isolasi kertas berfungsi sebagai isolasi, pemberi jarak, dan memiliki kemampuan mekanis.

h. *Tap Changer*

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai tegangan output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dan dengan demikian tegangan output/sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input/primernya. Penyesuaian ratio belitan ini disebut Tap changer.

Proses perubahan ratio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*On load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*Off load tap changer*). *Tap changer* terdiri dari :

- *Selector Switch*
- *Diverter Switch*
- Tahanan transisi

Dikarenakan aktifitas tap changer lebih dinamis dibanding dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah. *Selector switch* merupakan rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal terminal untuk menentukan posisi tap atau ratio belitan primer.

Diverter switch merupakan rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang tinggi.

Tahanan transisi merupakan tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada saat perubahan tap.

Media pendingin atau pemadam proses *switching* pada *diverter switch* yang dikenal sampai saat ini terdiri dari dua jenis, yaitu media minyak dan media *vaccum*. Jenis pemadaman dengan media minyak akan menghasilkan energi arcing yang

membuat minyak terurai menjadi gas C_2H_2 dan karbon sehingga perlu dilakukan penggantian minyak pada periode tertentu. Sedangkan dengan metoda pemadam *vaccum* proses pemadaman *arcing* pada waktu *switching* akan dilokalisir dan tidak merusak minyak (SPLN, 2007).

i. NGR (*Neutral Grounding Resistant*)

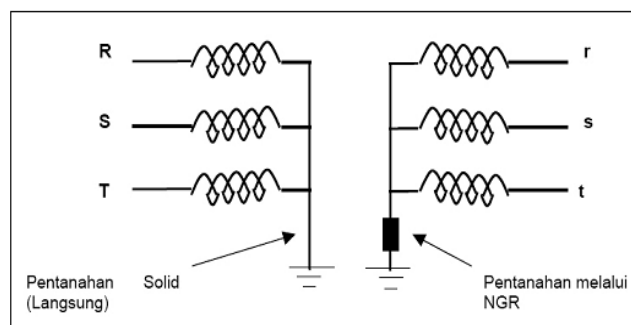
Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang seri dengan netral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke *ground*/tanah. Tujuan dipasangnya NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir dari sisi neutral ke tanah. Ada dua jenis NGR, *Liquid* dan *Solid*.

1. *Liquid*

Berarti resistornya menggunakan larutan air murni yang ditampung didalam bejana dan ditambahkan garam (*NaCl*) untuk mendapatkan nilai resistansi yang diinginkan.

2. *Solid*

Sedangkan NGR jenis padat terbuat dari *Stainless Steel*, *FeCrAl*, *Cast Iron*, *Copper Nickel* atau *Nichrome* yang diatur sesuai nilai tahanannya.



Gambar 2.10 *Neutral grounding resistance (NGR)*

2.2 Minyak Isolasi Transformator

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 merupakan salah satu bahan dielektrik yang mempunyai peranan penting dalam sistem kelistrikan bidang peralatan tegangan tinggi khususnya sebagai bahan isolasi.

Minyak isolasi terdiri dari beberapa jenis, baik dari segi pembuatannya maupun jenis bahannya. Minyak isolasi yang sering digunakan adalah :

- Minyak isolasi mineral
- Minyak isolasi sintesis

2.2.1 Minyak Isolasi Mineral

Minyak transformator mineral adalah minyak yang berbahan dasar dari pengolahan minyak bumi yaitu antara fraksi minyak diesel dan turbin yang mempunyai struktur kimia yang sangat kompleks. Minyak isolasi hasil distilasi ini 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 selain berfungsi sebagai bahan dielektrik dan sebagai pendingin (penyerap panas).

2.2.2 Minyak Isolasi Sintesis

Minyak jenis ini mempunyai sifat lebih menguntungkan antara lain tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi. Namun beracun dan dapat melukai kulit.

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 pemadaman busur api atau saat peralatan beroperasi.

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

Sifat minyak isolasi sintesis bila dibandingkan dengan minyak isolasi bahan mineral adalah:

1. Kekuatan dielektriknya di atas 40 kV
2. Harganya lebih murah
3. Berat jenisnya 1,56 dan jika bercampur dengan air, minyak isolasi sintesis berada dibawah permukaan air sehingga mempermudah dalam proses pemisahan dan pemurnian kadar air dalam minyak.
4. Untuk kondisi pemakaian pemakaian yang sama dengan minyak mineral, uap lembab akan menyebabkan oksidasi yang lebih pada minyak isolasi sintesis dan penurunan dielektrik yang lebih cepat dibandingkan dengan minyak isolasi mineral tetapi karena umurnya panjang dan sifat pendinginnya lebih baik maka pada beberapa pemakaian minyak isolasi sintesis banyak digunakan.

2.3 Gas-gas penyebab gangguan

Jenis gas-gas yang terkontaminasi dalam minyak isolasi adalah sebagai berikut:

- a. Gas Atmosferik : hidrogen, nitrogen, dan oksigen.
- b. Karbon Oksida : karbon monoksida dan karbondioksida.
- c. Hidro karbon : asetilena, etilena, metana, dan etana.

2.4 Jenis-jenis Kegagalan Transformator Akibat Kontaminasi Minyak Isolasi

a. *Overheating*

Ketika transformator yang beroperasi kelebihan beban, maka akan menghasilkan panas yang berlebih dan dapat memperburuk isolasi. Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan hasil DGA menunjukkan *karbon monoksida dan karbon dioksida* tinggi. Dalam kasus dengan suhu yang lebih hasil penelitian menunjukkan gas metana dan etilena berada pada tingkat yang lebih tinggi (Arismunandar, 1975).

b. Korona

Korona adalah terlepasnya muatan listrik dari permukaan konduktor. Modus terlepasnya muatan ini dalam skala besar dapat terlihat oleh mata telanjang, sedangkan dalam skala kecil tidak dapat terlihat oleh mata. Korona terjadi dikarenakan kadar *hidrogen* yang tinggi pada minyak isolasi. Gas hidrogen adalah gas satu-satunya yang menghasilkan korona namun terkadang gas hidrogen juga terbentuk akibat adanya reaksi kimia antara kandungan air yang berada dalam minyak logam (Arismunandar, 1975).

c. Arcing (busur api)

Arcing adalah gangguan yang paling berbahaya pada minyak isolasi dan transformator yang diakibatkan oleh gas *asetilena* pada minyak isolasi (Arismunandar, 1975).

Gas-gas yang timbul karena gangguan ini adalah : H_2 , C_2H_2 , (C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4), munculnya busur api dalam minyak isolasi ditandai dengan pembentukan gas-gas hidrogen dan asetilena sebagai gas-gas yang paling dominan.

2.5 DGA (Dissolved Gas Analysis)

Transformator sebagai peralatan tegangan tinggi tidak lepas dari kemungkinan mengalami kondisi abnormal, dimana 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*. Salah satu metoda untuk mengetahui ada tidaknya ketidaknormalan pada transformator adalah dengan mengetahui dampak dari ketidaknormalan transformator itu sendiri. Untuk mengetahui dampak ketidaknormalan pada transformator digunakan metoda DGA. Pada saat terjadi ketidaknormalan pada transformator, minyak isolasi sebagai rantai hidrokarbon akan terurai akibat besarnya energi ketidaknormalan dan akan membentuk gas-gas hidrokarbon yang larut dalam minyak isolasi itu sendiri (Sizwe Magiya, 2007).

DGA adalah proses untuk menghitung kadar/nilai dari gas-gas hidrokarbon yang terbentuk akibat ketidaknormalan minyak isolasi menggunakan alat uji DGA seperti gambar 2.11. Dari komposisi kadar/nilai gas-gas itulah dapat diprediksi dampak-dampak ketidaknormalan apa yang ada di dalam transformator, apakah *overheat*, *arcing* atau *corona* (tabel 2.2 dan tabel 2.3). Gas gas yang terdeteksi dari hasil pengujian DGA ditunjukkan pada tabel 2.1.

Secara garis besar gas-gas yang larut didalam minyak isolasi transformator akan diekstraksi/dipisahkan dari minyak isolasi itu sendiri terlebih dahulu sehingga nantinya gas tersebut dapat diuraikan dan diketahui kadarnya.



Gambar 2.11 Alat Uji *Dissolved Gas Analysis*

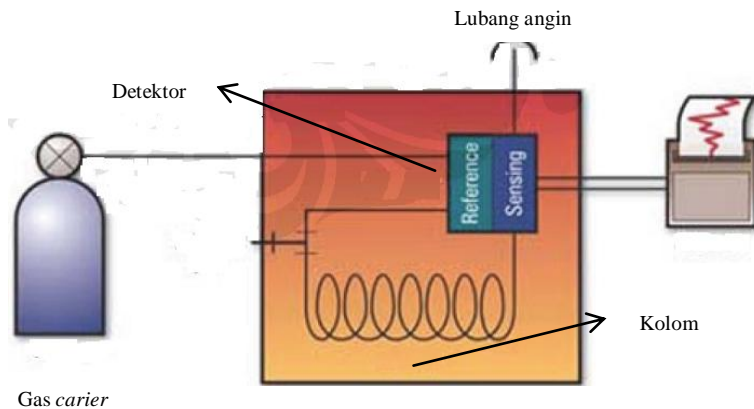
Setelah terpisah antara gas dengan minyak, gas tersebut akan diuraikan kembali berdasarkan jenis gas nya dengan menggunakan metode *chromatography* seperti pada gambar 2.12.

Hal-hal yang diperhatikan dalam pengujian ini adalah:

1. Rasio konsentrasi antara gas-gas tertentu.
2. Gas-gas apa saja yang terbentuk dan seberapa besar.

Dengan memperhatikan kedua hal di atas kemudahan diambil suatu interpretasi pada tingkatan seberapa gas-gas tersebut berpengaruh terhadap adanya gangguan dan kegagalan, dan menentukan jenis gangguan apa yang berkaitan dengan pembentukan gas-gas di dalam minyak isolasi (SPLN, 2007).

Gas gas yang telah terurai akan dideteksi oleh detektor berupa sinyal. Sinyal ini lah yang nantinya digunakan untuk mengetahui jumlah kadar gas dengan memperhitungkan luas sinyal tiap tiap gas.



Gambar 2.12 Skema *chromatography*

Gas keluaran yang akan dideteksi pada pengujian DGA dengan skema *chromatography* ada sembilan gas keluaran yang akan di analisa untuk menentukan keadaan minyak isolasi transformator seperti pada tabel 2.1. Adanya ketidaknormalan akan di sesuaikan dan dianalisa berdasarkan konsentasi tiap-tiap gas yang dihasilkan DGA dan disesuaikan dengan standart IEEE, seperti pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi.

| No. | Nama Gas | Lambang Kimia |
|-----|--|---------------|
| 1 | Hidrogen | H_2 |
| 2 | Metana | CH_4 |
| 3 | Karbon monoksida | CO |
| 4 | Karbondioksida | CO_2 |
| 5 | Etilena | C_2H_4 |
| 6 | Ethana | C_2H_6 |
| 7 | Asetilena | C_2H_2 |
| 8 | Nitrogen | N_2 |
| 9 | <i>Total Dissolves Combustible Gas(TDCG)</i> | |

Tabel 2.2 Keadaan Minyak isolasi dengan Kandungan Gas (*Std. IEEE*).

| No. | Kandungan Gas | Normal | Abnormal |
|-----|----------------------------|-------------|------------|
| 1 | Hidrogen (H_2) | < 100 ppm | >1800 ppm |
| 2 | Metana(CH_4) | < 120 ppm | >1000 ppm |
| 3 | Etana (C_2H_6) | < 65 ppm | >150 ppm |
| 4 | Etilena (C_2H_4) | < 50 ppm | >200 ppm |
| 5 | Asetilena (C_2H_2) | < 35 ppm | >80 ppm |
| 6 | Karbon Monoksida(CO) | < 350 ppm | >1400 ppm |
| 7 | Karbon Diokisida(CO_2) | < 2500 ppm | >10000 ppm |
| 8 | Nitrogen (N_2) | < 1.5jt ppm | >2.5jt ppm |
| 9 | TDCG | < 720 ppm | >4630 ppm |

**konsentrasi gas diantara keadaan normal dengan abnormal akan dilakukan perbaikan (pengujian secara rutin sesuai konsentrasi gasnya)*

2.6 Karakteristik Tegangan Tembus Minyak Isolasi Transformator

Untuk mengetahui atau untuk membuktikan keakuratan hasil dari defuzzyfikasi keadaan minyak isolasi yang telah diperoleh maka hasil defuzzyfikasi tersebut akan

dibandingkan dengan karakteristik tegangan tembus setiap minyak isolasi transformator yang akan di analisis yang dikeluarkan oleh PLN.

Tegangan tembus adalah besarnya tegangan ketika tembus listrik di antara elektroda yang terpisah 2,5 mm pada laju standar. Tegangan tembus normal yang diperlukan peralatan adalah 30-50 kV. Tegangan tembus ini sangat tergantung pada kandungan kontaminan dalam minyak, terutama air. Sedikit kenaikan kadar air di dalam minyak akan menyebabkan pengurangan yang tajam pada nilai tegangan tembus.

Pengujian tegangan tembus dilakukan untuk mengetahui kemampuan minyak isolasi dalam menahan stress tegangan. Minyak yang jernih dan kering akan menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi. Air bebas dan partikel solid, apalagi gabungan antara keduanya dapat menurunkan tegangan tembus secara drastis. Dengan kata lain pengujian ini dapat menjadi indikasi keberadaan kontaminan seperti kadar air dan partikel-partikel lainnya. Rendahnya nilai tegangan tembus dapat mengindikasikan keberadaan salah satu kontaminan tersebut, namun tingginya tegangan tembus belum tentu juga mengindikasikan bebasnya minyak dari semua jenis kontaminan.

Standar tegangan tembus untuk keadaan minyak isolasi yang digunakan oleh PLN seperti pada tabel 2.3 yang mengacu pada standar IEC 156, sebagai berikut:

Tabel 2.3 Standar IEC 156 karakteristik tegangan tembus minyak isolasi

| Tegangan Tembus | Keadaan Minyak Isolasi |
|-----------------|------------------------|
| >50 kV | Bagus |
| 40-50 kV | Kurang Bagus |
| < 50 kV | Tidak Layak |

2.7 Logika Fuzzy

a. Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi merupakan proses untuk merubah variable non-fuzzy (variable numerik) menjadi variable fuzzy (variable linguistik), dengan kata lain fuzzyfikasi bertujuan untuk mengidentifikasi masukan yang akan menggambarkan sebuah sistem (Son Kuswadi, 2007).

b. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*)

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi (Son Kuswadi, 2007).

c. Penyusunan Aturan-Aturan (rules)

Aturan fuzzy merupakan keterkaitan antara semua masukan yang akan menghasilkan keluaran yang di inginkan.

Aturan dalam logika fuzzy tersebut dapat diselesaikan dengan persamaan dibawah ini:

IF input₁ is I₁ AND input₂ is I₂ AND ... input_N is I_N, THEN DECISION Is D₁.

Input₁, input₂, ...input_N merupakan pengganti (*Antecedent*). *Antecedent* dan *decision* adalah variabel atau konsep fuzzy dimana *I₁, I₂, ...I_N* adalah bentuk linguistik atau bentuk fuzzy misalnya *rendah, sedang, tinggi*.

$$N_{aturan} = (FC)^{NC}$$

$$N_{aturan} = (3)^{10} = 59049$$

Keterangan : FC = Fuzzy Catagories

NC = Fuzzy Criteria

d. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi merupakan proses untuk mengubah informasi fuzzy yang diolah dengan proses fuzzyfikasi berupa masukan dan keluaran serta implementasi aturan-aturan yang ada pada fuzzy tersebut (Son Kuswandi, 2007).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Gardu Induk - PT PLN (Persero), Jln. Teuku Umar No. 41, Jember.

Table 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

| No | Kegiatan | Bulan | | |
|----|---------------------------------|-------|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| 1. | Studi Literatur | ■ | | |
| 2. | Pengambilan Data/ Analisis Data | ■ | | |
| 3. | Pembahasan | | ■ | |
| 4. | Penyelesaian Laporan | | | ■ |

3.2 Tahapan Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini akan digunakan dengan menggunakan metode seperti gambar 3.1, yaitu dengan cara sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur merupakan kajian penulis atas referensi-referensi yang ada baik berupa buku maupun karya-karya ilmiah yang berhubungan dengan penyelesaian laporan ini.

2. Perijinan penelitian

Dalam hal ini penulis akan melakukan perijinan kepada PLN untuk pengambilan data DGA yang akan digunakan untuk menyelesaikan laporan.

3. Pengambilan Data

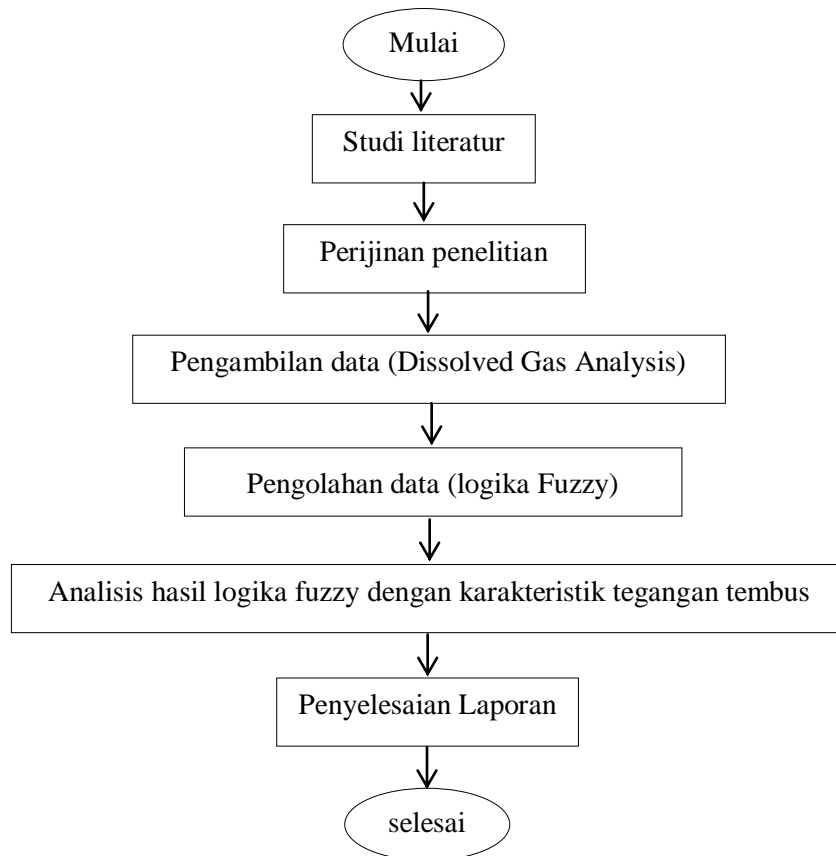
Pengambilan data akan dilakukan untuk di Gardu Induk jember yaitu hasil tes DGA yang dimiliki PLN (Gardu Induk Jember) untuk dianalisis.

4. Pengolahan Data

Dari data DGA yang diperoleh dari PLN akan dianalisis/diolah untuk mengetahui keadaan minyak isolasi dengan menggunakan logika *fuzzy*.

5. Penyelesaian laporan

Setelah data dan kesimpulan tentang keadaan minyak isolasi transformator telah diperoleh, laporan akan diselesaikan untuk pengambilan kesimpulan dan pemberian saran.



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian penelitian

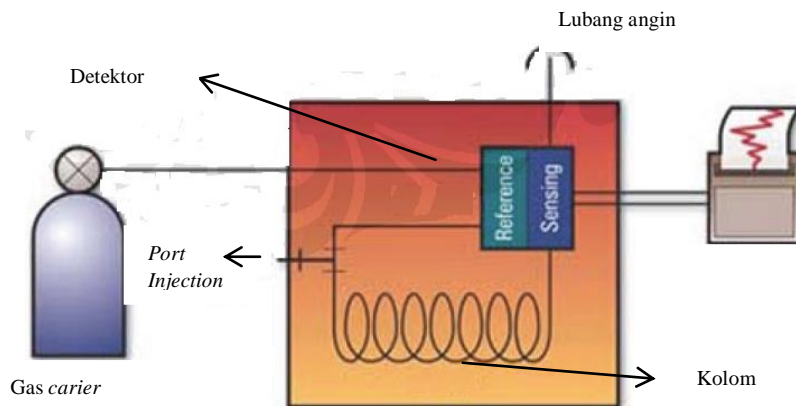
3.3 Pengumpulan Data

a. *Dissolved Gas Analysis (DGA)*

Langkah-langkah yang dilakukan untuk melakukan pengujian DGA:

1. Pengambilan sampel uji minyak isolasi yang ada pada transformator.
2. Ekstraksi gas dengan menggunakan peralatan DGA itu sendiri.
3. Interpretasi data, memperoleh hasil data dari uji sampel minyak isolasi yang dilakukan.
4. Pengambilan kesimpulan, setelah mendapatkan hasil data gas dalam minyak transformator maka diambil kesimpulan bagaimana keadaan minyak transformator tersebut.

Metode yang dapat digunakan untuk menguji dan untuk memperoleh konsentrasi gas-gas pada minyak isolasi pada transformator adalah *Gas Chromatograph* seperti pada gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.2 Diagram kerja *Gas Chromatograph*

Gambar di atas merupakan cara kerja DGA dengan menggunakan metode *Gas Chromatograph*, dengan perincian sebagai berikut sebagai berikut :

1. Sampel uji/minyak isolasi dimasukkan ke saluran kolom menggunakan *microsyringe*.

2. Gas *carierakan* menghantarkan molekul-molekul gas *fault* di dalam kolom, gas pembawa yang biasa digunakan merupakan jenis gas lembam, seperti nitrogen atau argon.
3. Gerakan molekul-molekul gas *fault* memiliki tingkat absorbs yang berbeda-beda sehingga akan mencapai ujung saluran kolom dengan dalam kurun waktu yang berbeda-beda.
4. Kemudian setiap bagian dari uji sampel yang mencapai ujung dari kolom akan dideteksi oleh detektor.
5. Dari detektor akan dihasilkan data keluaran berupa jenis gas yang ada pada minyak isolasi dan konsentrasing (*ppm*).

Metode DGA telah dilakukan oleh PLN untuk menentukan keadaan minyak isolasi dan keadaan transformator, namun dalam pengambilan kesimpulan PLN hanya memperhitungkan/menganalisis dari konsentrasi gas TDCG, dalam hasil tes DGA yang dimiliki PLN (seperti pada gambar 3.3), konsentrasi gas-gas lain memang sudah terdeteksi berapa konsentrasinya namun untuk hasil keadaan trafo hanya memperhitungkan nilai TDCG saja dan seolah olah gas-gas lain yang terdeteksi dalam minyak isolasi tidak mempengaruhi keadaan minyak isolasi transformator. Jenis dan konsentrasi gas yang terlarut dalam minyak isolasi sangat berpengaruh dengan keadaan minyak isolasi dan keadaan transformator itu sendiri oleh karena itu untuk mengambil kesimpulan berdasarkan hasil tes DGA konsentrasi TDCG dan konsentrasi kedelapan gas tersebut juga harus dianalisis.



Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 08011406
 Nama Sampel : Sukolilo Trafo 1, 150 / 20 KV, 50 MVA
 Tanggal Sampling : 14 Jan 2008
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

| Konsentrasi Gas terdeteksi | | |
|--|--------------|---|
| | ppm (v/v) | K |
| Hydrogen (H2) | 32,41 | 1 |
| Nitrogen (N2) | 1.438.620,00 | |
| Methane (CH4) | 98,98 | 1 |
| Carbon Monoxide (CO) | 0,00 | 1 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 5.538,51 | 3 |
| Ethylene (C2H4) | 0,00 | 1 |
| Ethane (C2H6) | 5,67 | 1 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 1 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 137,06 | 1 |

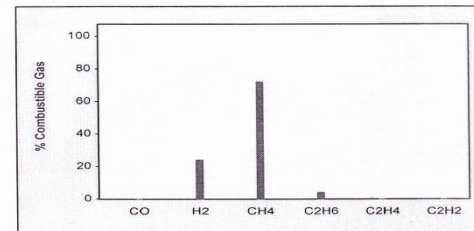
| Tabel IEEE_Limits (Kondisi Level) | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
| 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| 50 | 100 | 200 | > 200 |
| 65 | 100 | 150 | > 150 |
| 35 | 50 | 80 | > 80 |
| 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

| Analisa Gangguan dengan TDCG | |
|---------------------------------------|---|
| Total Dissolves Combustible Gas (ppm) | 137,06 |
| Kondisi Level | 1 |
| Hasil Diagnosa | Normal |
| Catatan Penting | TDCG level mengindikasikan trafo beroperasi Normal. Untuk Combustible gas yang secara individu melebihi batas normal sebaiknya tetap dilakukan investigasi. |

| Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|
| | ppm (v/v) | Persen |
| Carbon Monoxide (CO) | 0,00 | 0,00 |
| Hydrogen (H2) | 32,41 | 23,60 |
| Methane (CH4) | 98,98 | 72,20 |
| Ethane (C2H6) | 5,67 | 4,14 |
| Ethylene (C2H4) | 0,00 | 0,00 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 |

| Analisa Gangguan dengan Gas Kunci | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Gas Kunci penentu | |
| Hasil Diagnosa | Normal. |
| Keterangan | Trafo beroperasi normal. |



Gambar 3.3 Hasil tes DGA PLN.

b. Logika Fuzzy Untuk Menentukan Keadaan Transformator.

- Fuzzyfikasi

Proses fuzzyfikasi merupakan proses untuk merubah variable non-fuzzy (variable numerik) menjadi variable fuzzy (variable linguistik), dengan kata lain fuzzyfikasi bertujuan untuk mengidentifikasi masukan yang akan menggambarkan sebuah sistem.

- Fungsi Keanggotaan (*Member Function*)

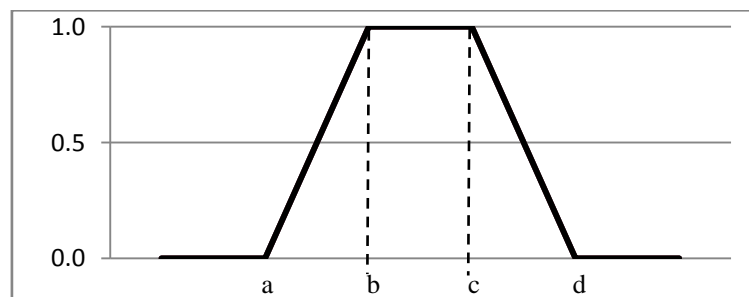
Dalam studi ini,sembilan gas masukan diidentifikasi untuk mengembangkan fungsi keanggotaan. Dalam penelitian ini fungsi keanggotaan ada sembilan jenis gas sesuai dengan tabel 2.1 dan dengan nilai konsentrasi gas sesuai dengan tabel 2.2.

Penentuan fungsi keanggotaan merupakan hal yang paling penting dalam penyelesaian logika fuzzy. Dalam logika fuzzy ada beberapa jenis kurva yang sering digunakan untuk penyelesaian fungsi keanggotaan seperti kurva garis lurus, *Gaussian-Bell*, sigmoid, polinomial ataupun kombinasi dari beberapa bentuk kurva. Umumnya kurva segitiga dan kurva trapesium lebih sering digunakan, dalam penelitian ini kurva trapesium yang akan diterapkan karena bentuk kurva trapesium fungsi keanggotaannya lebih akurat dengan batas-batas operasi yang aman untuk kontaminasi gas yang ada dalam minyak isolasi pada tansformator.

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 (Sizwe Magiya, 2007).

Derajat keanggotaan kesembilan gas yang akan menjadi masukan akan digambarkan menjadi tiga tingkatan/derajat keanggotaan yaitu *normal*, *tinggi*, dan *sangat tinggi*.

Fungsi keanggotaan kurva trapesium pada gambar 3.4 merupakan contoh fungsi keanggotaan fuzzy dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan 3.1.



Gambar 3.4 Kurva Trapesium

Dari gambar 3.3 diatas maka derajat persamaam keanggotaan untuk kurva trapesium dapat diselesaikan dengan persamaan dibawah ini, yaitu:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & , x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{x-a}{b-a} & , a \leq x \leq b \\ 1 & , b \leq x \leq c \dots\dots\dots 3.1 \\ \frac{d-x}{d-c} & , x \geq d \end{cases}$$

- Penyusunan Aturan (*Rules*)

Aturan fuzzy menjelaskan hubungan antara keseluruhan input yang digunakan. Kategori keluaran fuzzy yang digunakan untuk menentukan keadaan transformator pada penelitian ini adalah *berbahaya, perbaikan dan normal*. Data input yang digunakan adalah terdiri dari delapan gas yang dihasilkan berdasarkan data hasil pengujian DGA. Dalam tabel 3.2 sampai tabel 3.4 merupakan bagaimana cara membangun aturan yang akan digunakan untuk menentukan keadaan minyak isolasi transformator, dimana setiap rule terdiri dari tiga masukan gas.

Namun kemungkinan tidak semua data masukan gas akan dipakai untuk penyelesaian aturan, hal ini disesuaikan dengan data yang diperoleh melalui proses DGA pada minyak isolasi yang akan diuji. Pada dasarnya untuk menentukan keadaan transformator hanya dibutuhkan tiga konsentrasi gas yang terdiri dari *gas atmospirik, karbon oksida, dan hidro karbon*.

Tabel 3.2 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG *Sangat Tinggi*.

| Nitrogen | TDCG SangatTinggi | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Hidrogen | | | Metana | | | Etana | | | Asetilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | B | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | B | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Normal | P | P | N | P | P | N | P | P | N | P | P | N |

| Nitrogen | TDCG SangatTinggi | | | | | | | | |
|--------------|-------------------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Karbonmonoksida | | | Karbendioksida | | | Etilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | P | P | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | P | P | N | B | B | P |
| Normal | P | P | N | N | N | N | P | P | N |

Tabel 3.3 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG Tinggi.

| Nitrogen | TDCG Tinggi | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Hidrogen | | | Metana | | | Etana | | | Asetilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | P | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | P | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Normal | P | N | N | N | N | N | P | N | N | P | N | N |

| Nitrogen | TDCG Tinggi | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Karbonmonoksida | | | Karbondioksida | | | Etilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | P | P | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | P | P | N | B | B | P |
| Normal | P | N | N | N | N | N | P | N | N |

Tabel 3.4 Aturan Fuzzy untuk konsentrasi TDCG *Normal*.

| Nitrogen | TDCG Normal | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Hidrogen | | | Metana | | | Etana | | | Asetilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | B | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | B | B | P | B | B | P | B | B | P |
| Normal | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N | N |

| Nitrogen | TDCG Normal | | | | | | | | |
|--------------|-----------------|--------|--------|----------------|--------|--------|--------------|--------|--------|
| | Karbonmonoksida | | | Karbondioksida | | | Etilena | | |
| | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal | Sngt. Tinggi | Tinggi | Normal |
| Sngt. Tinggi | B | B | P | P | P | P | B | B | P |
| Tinggi | B | B | P | P | N | N | B | B | P |
| Normal | N | N | N | N | N | N | N | N | N |

*B= Berbahaya ; P = Perbaikan : N= Normal

- Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi dalam hal ini berfungsi untuk mengimplementasikan keadaan transformator, yang berasal dari fungsi keanggotaan (*membership function*) dan penyusunan aturan-aturan.

Keputusan yang dihasilkan dari proses penalaran ini masih dalam bentuk fuzzy, yaitu berupa derajat keanggotaan keluaran. Metode defuzzyfikasi yang digunakan untuk menyelesaikan sistem ini adalah metode MOM (*maximum of mean*).

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Logika Fuzzy Untuk Menentukan Keadaan Minyak Isolasi

Dalam metode DGA terjadinya gangguan sudah dapat di analisis dengan menganalisis tiga jenis konsentrasi gas, yaitu gas TDCG, nitrogen, dan gas ketiga seperti metana, etana, etilena, asetilena, karbon monoksida, dan karbon dioksida pada minyak isolasi. Dengan kata lain kehadiran gas TDCG tanpa adanya gas nitrogen yang terdapat dalam minyak isolasi tidak dapat dikatakan sebagai gangguan begitu juga sebaliknya (Sizwe Magiya, 2007). Pada dasarnya dengan menggunakan metode ini kita langsung dapat menentukan keadaan minyak isolasi dengan menggunakan data DGA setiap transformator namun kita tidak dapat menentukan bagaimana tingkat keadaan minyak isolasi yang sebenarnya.

Oleh karena itu teori logika fuzzy digunakan untuk mengembangkan fungsi keanggotaan gas terlarut untuk menentukan keadaan minyak isolasi transformator yang sebenarnya untuk mencegah terjadinya kegagalan pada transformator.

4.1.1 Fuzzyfikasi

Sembilan gas masukan sesuai dengan tabel 2.1 akan digunakan untuk mengembangkan sistem fuzzy untuk mengetahui keadaan minyak isolasi transformator, fuzzyfikasi ini berguna untuk mengembangkan fungsi keanggotaan kesembilan jenis gas yang terlarut dalam minyak isolasi yang terdeteksi pada data DGA.

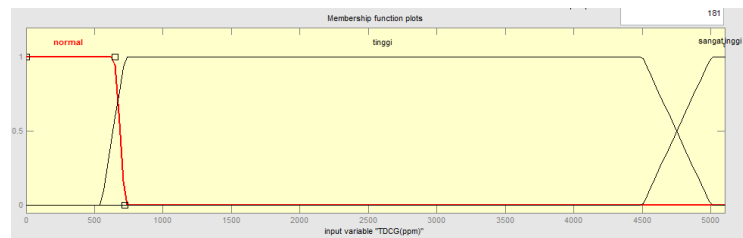
4.1.2 Fungsi Keanggotaan (Membership Function)

Derajat keanggotaan untuk setiap masukan gas disesuaikan dengan tabel 2.2. Untuk derajat keanggotaan dengan konsentrasi gas berada dibawah keadaan normal

dimasukkan kedalam derajat keanggotaan “*normal*” dan untuk konsentrasi gas yang berada di keadaan abnormal dimasukkan ke dalam derajat keanggotaan “*sangat tinggi*”, sedangkan untuk derajat keanggotaan “*tinggi*” berada diantara keadaan normal dan abnormal.

Dengan menggunakan persamaan 3.1, maka kita dapat menentukan persamaan fungsi keanggotaan untuk kesembilan gas masukan, yaitu:

1. TDCG



Gambar 4.1 Fungsi keanggotaan TDCG pada Matlab.

Dari persamaan 3.1, maka persamaan fungsi keanggotaan untuk gas TDCG dapat diselesaikan dengan cara sebagai berikut :

a. TDCG Normal

Derajat a dan b tidak diperhitungkan karena berada pada nilai negatif c=550; d=720, maka fungsi keanggotaan untuk TDCG normal adalah:

- $\mu(x) = 1 \quad b \leq x \leq c$
- $\mu_{normal}(x) = 1 \quad 0 \leq x \leq 550$
- $\mu(x) = \frac{d-x}{d-c} \quad x \geq d$
- $\mu_{normal}(x) = \frac{720-x}{720-550} \quad 550 \leq x \leq 720$
- $\mu_{normal}(x) = 10.28 - 0.14x \quad 550 \leq x \leq 720$

Maka persamaan fungsi keanggotaan TDCG normal adalah sebagai berikut:

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 550 \\ -0.14x + 10.28 & 550 \leq x \leq 720 \end{cases} \dots\dots\dots 4.1$$

b. TDCG tinggi

Derajat a=550; b=720; c=4500; dan d=5000, maka fungsi keanggotaan dengan konsentrasi TDCG tinggi dapat diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 - \mu(x) &= \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\
 \mu_{tinggi}(x) &= \frac{x-550}{720-550} & 550 \leq x \leq 720 \\
 \mu_{tinggi}(x) &= -7.85 + 0.14x & 550 \leq x \leq 720 \\
 - \mu(x) &= 1 & b \leq x \leq c \\
 \mu_{tinggi}(x) &= 1 & 720 \leq x \leq 4500 \\
 - \mu(x) &= \frac{d-x}{d-c} & x \geq d \\
 \mu_{tinggi}(x) &= \frac{5000-x}{5000-4500} & x \geq d \\
 \mu_{tinggi}(x) &= 10 - 0.002x & 4500 \leq x \leq 5000
 \end{aligned}$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan TDCG Tinggi adalah sebagai berikut:

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0.14x - 7.85 & 550 \leq x \leq 720 \\ 1 & 720 \leq x \leq 4500 \dots\dots\dots 4.2 \\ -0.002x + 10 & 4500 \leq x \leq 5000 \end{cases}$$

c. Sangat tinggi TDCG

Derajat a=4500; b=5000; derajat c dan d tidak ditentukan karena > 5000 sampai tak terhingga, maka fungsi keanggotaan dengan konsentrasi TDCG tinggi diselesaikan dengan persamaan dibawah ini:

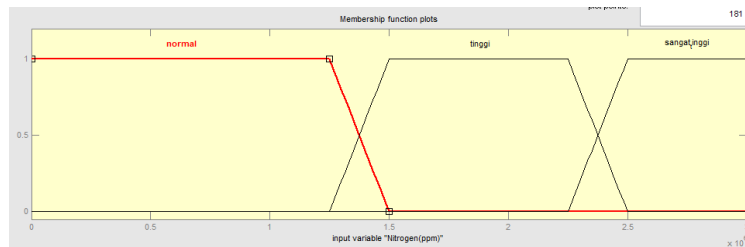
$$\begin{aligned}
 - \mu(x) &= \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\
 \mu_{sangat\ tinggi}(x) &= \frac{x-4500}{5000-45000} & a \leq x \leq b \\
 \mu_{sangat\ tinggi}(x) &= 0.002x - 9 & 4500 \leq x \leq 5000 \\
 - \mu(x) &= 1 & b \leq x \leq c \\
 \mu_{sangat\ tinggi}(x) &= 1 & x \geq 720
 \end{aligned}$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan TDCG Tinggi adalah sebagai berikut:

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.002x-9 & 4500 \leq x \leq 5000 \\ 1 & x \geq 720 \end{cases} \dots\dots\dots 4.3$$

Dengan cara diatas maka fungsi keanggotaan kedelapan gas masukan lainnya juga dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan 4.1 hasilnya adalah sebagai berikut:

2. Nitrogen



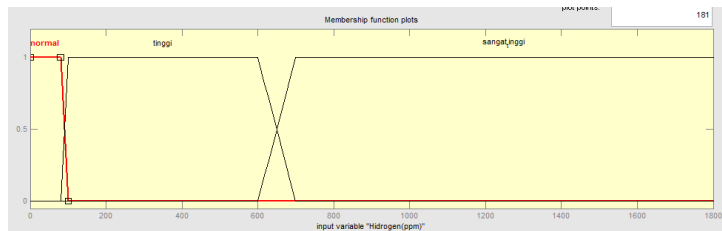
Gambar 4.2 Fungsi keanggotaan nitrogen pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 1.250.000 \\ -0.000004x+6 & 1.250.000 \leq x \leq 1.500.000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.4$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.000004x-5 & 1.250.000 \leq x \leq 1.500.000 \\ 1 & 1.500.000 \leq x \leq 2.250.000 \\ -0.000004x+10 & 2.250.000 \leq x \leq 2.500.000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.5$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.000004x-9 & 2.250.000 \leq x \leq 2.500.000 \\ 1 & x \geq 2.500.000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.6$$

3. Hidrogen



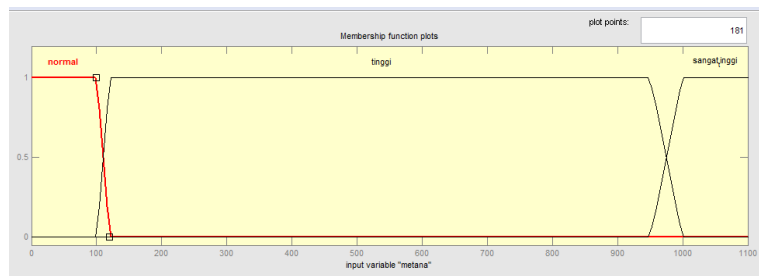
Gambar 4.3 Fungsi keanggotaan hidrogen pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 80 \\ -0.005x+6 & 80 \leq x \leq 100 \end{cases} \dots\dots\dots 4.7$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.05x-4 & 80 \leq x \leq 100 \\ 1 & 100 \leq x \leq 600 \\ -0.001x+7 & 600 \leq x \leq 700 \end{cases} \dots\dots\dots 4.8$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.01x-6 & 600 \leq x \leq 700 \\ 1 & x \geq 700 \end{cases} \dots\dots\dots 4.9$$

4. Metana



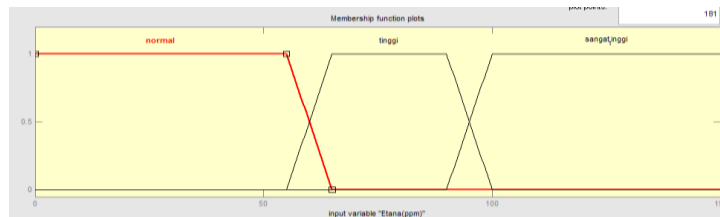
Gambar 4.4 Fungsi keanggotaan metana pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 100 \\ -0.005x+6 & 100 \leq x \leq 120 \end{cases} \dots\dots\dots 4.10$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.05x-5 & 100 \leq x \leq 120 \\ 1 & 120 \leq x \leq 950 \\ -0.02x+20 & 950 \leq x \leq 1000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.11$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.02x-19 & 950 \leq x \leq 1000 \\ 1 & x \geq 1000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.12$$

5. Etana



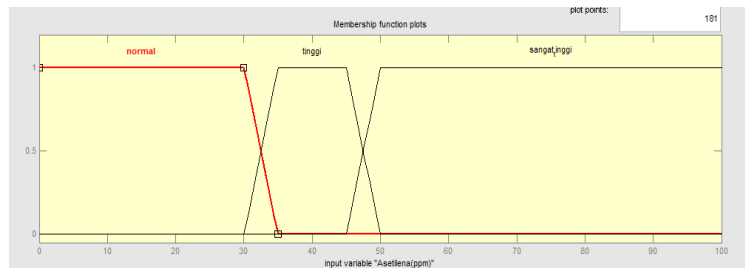
Gambar 4.5 Fungsi keanggotaan etana pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 55 \\ -0.1x + 6.5 & 55 \leq x \leq 65 \end{cases} \dots\dots\dots 4.13$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.1x - 5.5 & 55 \leq x \leq 65 \\ 1 & 65 \leq x \leq 90 \\ -0.01x + 10 & 90 \leq x \leq 100 \end{cases} \dots\dots\dots 4.14$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.1x - 9 & 90 \leq x \leq 100 \\ 1 & x \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots 4.15$$

6. Asetilena



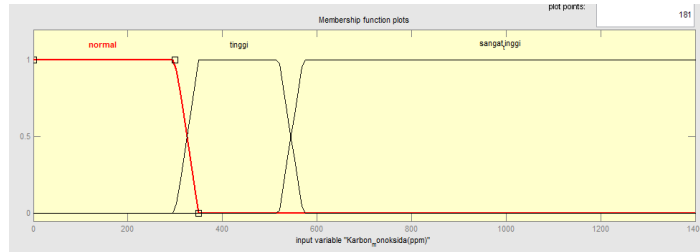
Gambar 4.6 Fungsi keanggotaan asetilena pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 30 \\ -0.2x + 7 & 30 \leq x \leq 35 \end{cases} \dots\dots\dots 4.16$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.2x - 6 & 30 \leq x \leq 35 \\ 1 & 35 \leq x \leq 45 \\ -0.2x + 10 & 45 \leq x \leq 50 \end{cases} \dots\dots\dots 4.17$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.2x - 9 & 45 \leq x \leq 50 \\ 1 & x \geq 50 \end{cases} \dots\dots\dots 4.18$$

7. Karbon Monoksida



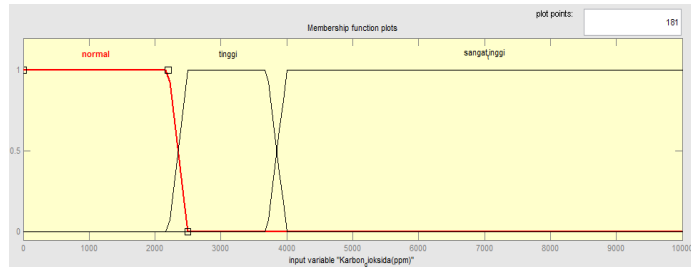
Gambar 4.7 Fungsi keanggotaan karbon monoksida pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 300 \\ -0.02x + 7 & 300 \leq x \leq 350 \end{cases} \dots\dots\dots 4.19$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.02x - 6 & 300 \leq x \leq 350 \\ 1 & 350 \leq x \leq 520 \\ -0.02x + 11.4 & 520 \leq x \leq 570 \end{cases} \dots\dots\dots 4.20$$

$$\mu_{Sangat Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.02x - 10.4 & 520 \leq x \leq 570 \\ 1 & x \geq 570 \end{cases} \dots\dots\dots 4.21$$

8. Karbon Dioksida



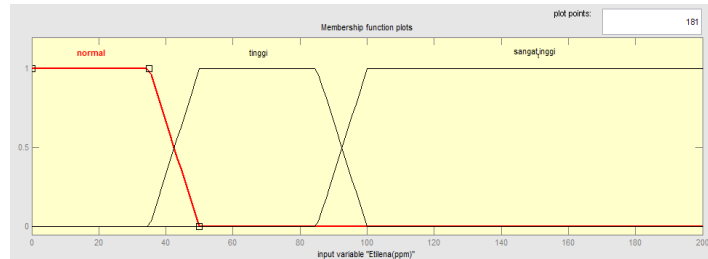
Gambar 4.8 Fungsi keanggotaan karbon monoksida pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 2200 \\ -0.003x + 8.33 & 2200 \leq x \leq 2500 \end{cases} \dots\dots\dots 4.22$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.003x - 7.33 & 2200 \leq x \leq 2500 \\ 1 & 2500 \leq x \leq 3700 \\ -0.001x + 20 & 3700 \leq x \leq 4000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.23$$

$$\mu_{Sangat Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.003x - 12.33 & 3700 \leq x \leq 4000 \\ 1 & x \geq 4000 \end{cases} \dots\dots\dots 4.24$$

9. Etilena



Gambar 4.9 Fungsi keanggotaan etilena pada Matlab.

$$\mu_{Normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 35 \\ -0.06x + 3.33 & 35 \leq x \leq 50 \end{cases} \dots\dots\dots 4.25$$

$$\mu_{Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.06x - 2.33 & 35 \leq x \leq 50 \\ 1 & 50 \leq x \leq 85 \\ -0.06x + 6.66 & 85 \leq x \leq 100 \end{cases} \dots\dots\dots 4.26$$

$$\mu_{Sangat\ Tinggi}(x) = \begin{cases} 0.06x - 5.66 & 85 \leq x \leq 100 \\ 1 & x \geq 100 \end{cases} \dots\dots\dots 4.27$$

4.1.3 Penyusunan Aturan (*Rules*)

Dalam penyusunan aturan dalam penyelesaian sitem ini, untuk satu aturan kesembilan gas terlarut tidak akan di kategorikan sebagai masukan untuk menentukan keadaan minyak isolasi transformator sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian 4.1, kehadiran gas TDCG dan nitrogen tanpa danya kehadiran gas ketiga bukan merupakan gangguan oleh karena itu keadaan minyak isolasi akan ditentukan dengan kehadiran TDCG, nitrogen dan kehadiran gas ketiga.

Dengan menggunakan operator *AND*, *NOT*, dan operator fuzzy lainnya yang tersedia pada Matlab, pembuatan aturan sistem untuk menentukan keadaan minyak isolasi menjadi lebih cepat dan praktis.

Aturan-aturan yang digunakan untuk menentukan keadaan minyak isolasi diperoleh berdasarkan percobaan yang telah dilakukan sebelumnya, sebagai contoh untuk aturan 1 pada saat konsentrasi TDCG sangat tinggi, nitrogen sangat tinggi dan

konsentrasi gas hidrogen juga sangat tinggi yang terjadi adalah arcing. Arcing ini merupakan keadaan yang paling berbahaya dalam indikasi kegagalan transformator, hal ini dikarenakan pada saat terjadi arcing dalam minyak isolasi terjadi lonjatan api pada minyak isolasi transformator yang dapat mengakibatkan rusaknya transformator sehingga harus dilakukan penggantian minyak isolasi (Balint Nemeth et al, 2009).

Untuk keadaan “*perbaikan*” indikasi kegagalan yang terjadi adalah suhu lebih (*over heating*) pada minyak isolasi sehingga harus segera dilakukan pencucian minyak (*purification/filter*) untuk memperbaiki dan mencegah kegagalan transformator. Sedangkan untuk keadaan normal, tidak ada indikasi gangguan yang terjadi sehingga transformator dapat dioperasikan dengan normal (Balint Nemeth et al, 2009).

Aturan-aturan (*rules*) yang digunakan untuk penentuan keadaan minyak isolasi transformator yang sesuai dengan tabel pada lampiran 11 adalah sebagai berikut:

a. *Aturan Fuzzy untuk TDCG Sangat Tinggi.*

- *hidrogen*

1. *If Sangat tinggi TDCG AND NOT normal Nitrogen AND NOT normal Hidrogen THEN Keadaan Transformator is Berbahaya.*
2. *If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
3. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
4. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Metana*

5. *If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Metana Then keadaan Transformator is Berbahaya.*
6. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Metana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
7. *If TDCGSangat Tinggi AND Not Normal Nitrogen AND Normal Metana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
8. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Metana Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Etana*

9. *If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Etana Then keadaan Bushinng is Berbahaya.*
10. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Etana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
11. *If TDCGSangat Tinggi AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
12. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Etana Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Asetilena*

13. *If Sangat tinggi TDCG AND NOT normal Nitrogen AND NOT normal setilena THEN Keadaan Transformator is Berbahaya.*
14. *If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
15. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

16. If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Normal.

- Karbon Monoksida

17. If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Monoksida Then keadaan Transformator is Berbahaya.

18. If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

19. If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

20. If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Normal.

- Karbon Dioksida

21. If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

22. If Total gas terlarut Mudah Yang Mudah Terbakar Sangat Tinggi AND Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.

23. If Sangat tinggi TDCG AND Not Sangat Tinggi NitrogenAnd Normal Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.

24. If Sangat tinggi TDCG AND Sangat Tinggi Nitrogen AND Normal karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikain.

- Etilena

25. If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Berbahaya.

26. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*
27. *If Sangat tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etilena Then keadaan Transformator is Perbaikan.*
28. *If Sangat tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Normal.*
- b. *Aturan Fuzzy untuk TDCG Tinggi.*
- *Hidrogen*

29. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

30. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.*

31. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Hidrogen Then keadaan Transformator is Normal.*

32. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Hidrogen Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.*
 - *Metana*

33. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Tinggi Metana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

34. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Tinggi Metana Then keadaan Transformator is Perbaikan.*

35. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen Not Normal Metana Then Keadaan Transformator is Normal.*

36. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Metana Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Etana*

37. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Etana Then Keadaan Transformator is Berbahaya.

38. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etana Then keadaan Transformator is perbaikan.

39. If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Etana Then Keadaan Transformator is Normal.

40. If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Etana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

- *Asetilena*

41. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Berbahaya.

42. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

43. If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Asetilena Then Keadaan Transformator Normal.

44. If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Asetilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

- *Karbon Monoksida*

45. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Berbahaya.

46. If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.

47. If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Karbon Monoksida Then keadaan Transformator is Normal.

48. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.*

- *Karbon Dionoksida*

49. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

50. *If Total gas terlarut Mudah Yang Mudah Terbakar Tinggi AND Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.*

51. *If Tinggi TDCG AND Not Sangat Tinggi NitrogenAnd Normal Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.*

52. *If Tinggi TDCG AND Sangat Tinggi Nitrogen AND Norrmal karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikain.*

- *Etilena*

53. *If Tinggi TDCG AND Not Normal NitrogenAND Not Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

54. *If Tinggi TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etilen Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.*

55. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Etilena Then keadaan Transformator is Normal.*

56. *If Tinggi TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Etilena Then Keadaan Transformator Is Perbaikan.*

c. *Aturan Fuzzy untuk TDCG Normal.*

- *Hidrogen*

57. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

58. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

59. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Normal.*

60. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Hidrogen Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Metana*

61. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Metana Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

62. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Metana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

63. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Metana Then Keadaan Transformator Normal.*

64. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Metana Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Etana*

65. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Etana Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

66. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etana Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

67. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Etana Then Keadaan Transformator Normal.*

68. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Etana Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Asetilena*

69. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

70. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

71. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Asetilena Then Keadaan Transformator Normal.*

72. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Asetilena Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Karbon Monoksida*

73. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Berbahaya.*

74. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

75. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator Normal.*

76. *If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Karbon Monoksida Then Keadaan Transformator is Normal.*

- *Karbon Dioksida*

77. *If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

78. *If Normal TDCG AND Sangat Tinggi Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Perbaikan.*

79. *If Normal TDCG AND AND Not Sangat Tinggi Nitrogen AND Not Sangat Tinggi Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.*

80. If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Sangat Tinggi Karbon Dioksida Then Keadaan Transformator is Normal.

- *Etilena*

81. If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Not Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Berbahaya.

82. If Normal TDCG AND Not Normal Nitrogen AND Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Perbaikan.

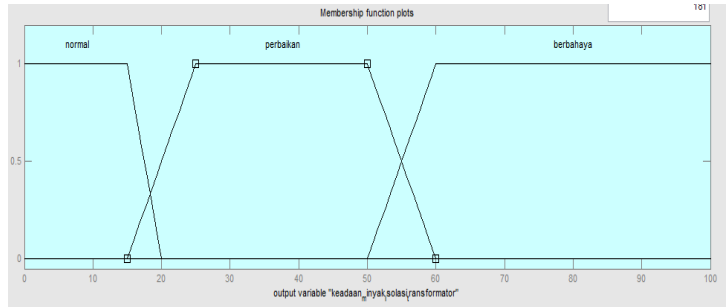
83. If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Not Normal Etilena Then Keadaan Transformator Normal.

84. If Normal TDCG AND Normal Nitrogen AND Normal Etilena Then Keadaan Transformator is Normal.

4.1.4 Deffuzifikasi

Deffuzifikasi adalah metode yang digunakan untuk menghasilkan keluaran yang diinginkan oleh sistem logika fuzzy yang dibangun untuk menyelesaikan permasalahan keadaan minyak isolasi transformator. Untuk menentukan fungsi keanggotaan keadaan minyak isolasi transformator harus dilakukan beberapa percobaan dengan mempertimbangkan aturan-aturan yang telah di bangun agar keluaran ataupun hasil defuzzyfikasi sehingga keadaan minyak isolasi sesuai dengan yang diinginkan.

Gambar 4.10 merupakan fungsi keanggotaan yang dikembangkan untuk menentukan keadaan minyak isolasi yang memiliki tiga derajat keanggotaan yaitu *Normal, Perbaikan, dan Berbahaya.*



Gambar 4.10 Fungsi Keanggotaan keluaran keadaan minyak isolasi.

Dengan menggunakan persamaan 3.1 maka fungsi keanggotaan keluaran keadaan minyak isolasi dapat diselesaikan menggunakan persamaan dibawah ini, yaitu:

a. Keadaan minyak isolasi nomal

Derajat a dan b tidak diperhitungkan karena berada pada daerah negatif; c=15; dan d=20.

$$\begin{aligned} & - \mu(x)=1 && b \leq x \leq c \\ & \mu_{normal}(x)=1 && 0 \leq x \leq 15 \\ & - \mu(x) = \frac{d-x}{d-c} && x \geq d \\ & \mu_{normal}(x) = \frac{20-x}{20-15} && 15 \leq x \leq 20 \\ & \mu_{normal}(x) = 4-0.2x && 15 \leq x \leq 20 \end{aligned}$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan keadaan minyak isolasi “normal” adalah sebagai berikut:

$$\mu_{normal}(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq 15 \\ -0.2x+4 & 15 \leq x \leq 20 \end{cases} \dots\dots\dots 4.28$$

b. Keadaan minyak isolasi Perbaikan

Derajat a=15; b=25; c=50; d=60, maka fungsi keanggotaan untuk keadaan mnyak isolasi “perbaikan” diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = \frac{x-15}{25-15} \quad 15 \leq x \leq 25$$

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = 0.1x - 1.5 \quad 15 \leq x \leq 25$$

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

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = 1 \quad 25 \leq x \leq 50$$

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

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = \frac{60-x}{60-50} \quad x \geq d$$

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = -0.1x + 6 \quad 50 \leq x \leq 60$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan keadaan minyak isolasi “perbaikan” adalah sebagai berikut:

$$\mu_{\text{perbaikan}}(x) = \begin{cases} 0.1x - 1.5 & 25 \leq x \leq 35 \\ 1 & 35 \leq x \leq 50 \dots\dots\dots 4.29 \\ -0.1x + 6 & 50 \leq x \leq 60 \end{cases}$$

c. Keadaan minyak isolasi berbahaya

Derajat a=50; b=60; derajat c dan d tidak ditentukan karena > 60 sampai tak terhingga, maka fungsi keanggotaan keadaan minyak isolasi berbahaya diselesaikan dengan persamaan dibawah ini:

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

$$\mu_{\text{berbahaya}}(x) = \frac{x-50}{60-50} \quad 50 \leq x \leq 60$$

$$\mu_{\text{berbahaya}}(x) = 0.1x - 5 \quad 50 \leq x \leq 60$$

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

$$\mu_{\text{berbahaya}}(x) = 1 \quad x \geq 60$$

Maka persamaan fungsi keanggotaan keadaan minyak isolasi “berbahaya” adalah sebagai berikut:

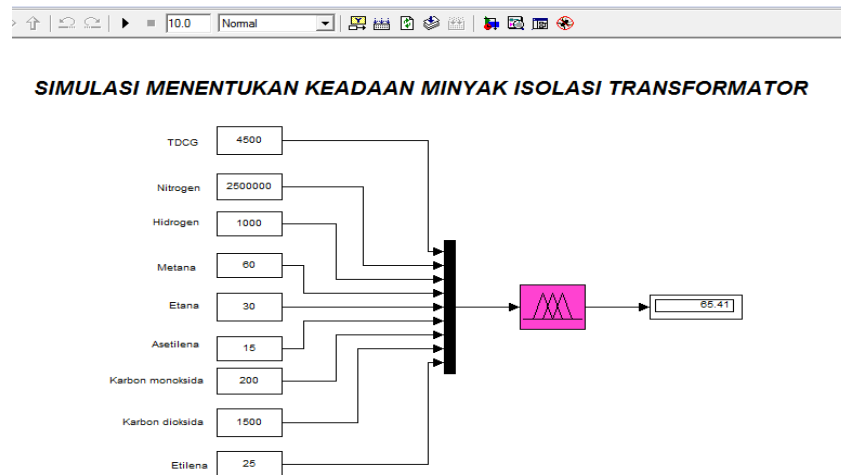
$$\mu_{berbahaya}(x) = \begin{cases} 0.1x-5 & 50 \leq x \leq 60 \\ 1 & x \geq 60 \end{cases} \dots\dots\dots 4.30$$

4.1.5 Pengujian Aturan (Rule)

Pengujian aturan dilakukan untuk membuktikan keakuratan sistem fuzzy yang telah dibangun, dan untuk mengetahui apakah keluaran sistem fuzzy yang dibangun sesuai dengan yang diharapkan dalam hal ini untuk mengetahui keadaan minyak isolasi transformator yang berguna untuk analisis hasil keadaan minyak isolasi yaitu kita dapat menentukan gas mana yang paling dominan dalam menentukan keadaan minyak isolasi.

Dalam hal ini pengujian aturan dilakukan sesuai dengan banyaknya aturan yang ada pada sistem yaitu 84 aturan, dimana setiap aturan memiliki tiga masukan gas yang diperoleh dari data DGA dan untuk ketujuh gas lainnya diasumsikan berada pada batas normal. Pengujian aturan dilakukan dengan cara seperti dibawah ini, yaitu:

1. *If Sangat tinggi TDCG AND NOT normal Nitrogen AND NOT normal Hidrogen THEN Keadaan Transformator is Berbahaya.*



Gambar 4.11 Pengujian aturan 1.

Pada pengujian aturan 1 pada gambar 4.11 diasumsikan konsentrasi TDCG adalah 4500 ppm (*sangat tinggi*), Nitrogen adalah 2.5jt ppm (*Not Normal*) dan konsentrasi gas lainnya di asumsikan berada pada keadaan normal yang menghasilkan keluran keadaan minyak isolasi pada derajat 65.41 (*Berbahaya*).

Dari gambar 4.12 maka untuk aturan 2 sampai 84 selanjutnya dapat diselesaikan dengan prose yang sama, yaitu:

2. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (2.5jt ppm) AND Normal Hidrogen (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44.45).*
3. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Hidrogen (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29.4).*
4. *If Sangat tinggi TDCG (5000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Hidrogen (50 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12.4).*
5. *If Sangat tinggi TDCG (5000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (2.5jt ppm) AND Not Normal Metana (1000 ppm) Then keadaan Transformator is Berbahaya (65).*
6. *If Sangat tinggi TDCG (5000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Metana (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29.4).*
7. *If Sangat tinggi TDCG (5000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (2.5jt ppm) AND Normal Metana (60 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
8. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Metana (60 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
9. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etana (100 ppm) Then keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
10. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Etana (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29.4).*

11. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etana (40 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
12. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Etana (40 ppm) Keadaan Transformator is Normal (12).*
13. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND NOT Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND NOT normal Asetilena (50 ppm) THEN Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
14. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Asetilena (40 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
15. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Asetilena (50 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29.4).*
16. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Asetilena (40 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
17. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Karbon Monoksida (450 ppm) Then keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
18. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Karbon Monoksida (450 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
19. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Karbon Monoksida (200 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
20. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Karbon Monoksida (200 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*

21. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Karbon Dioksida (4000 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
22. *If TDCG Sangat Tinggi (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Karbon dioksida (4000 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
23. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Sangat Tinggi Nitrogen (100000 ppm) And Normal Karbon Dioksida (200 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
24. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Sangat Tinggi Nitrogen (2.5jt ppm) AND Normal karbon Dioksida (200 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
25. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etilena (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
26. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Etilena (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
27. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etilena (25 ppm) Then keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
28. *If Sangat tinggi TDCG (4500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Etilena (25 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
29. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Hidrogen (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
30. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Hidrogen (50 ppm) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (29).*
31. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Hidrogen (500 ppm) Then keadaan Transformator is Normal (12).*
32. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Hidrogen (2000) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (29).*

33. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Tinggi Metana (60 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
34. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Tinggi Metana (700 ppm) Then keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
35. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Metana (500 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
36. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Metana (60 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
37. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etana (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
38. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etana (20 ppm) Then keadaan Transformator is perbaikan (29).*
39. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi (30 ppm) Etana Then Keadaan Transformator is Normal (29).*
40. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Etana (130) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
41. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Asetilena (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
42. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Asetilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
43. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Asetilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
44. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Asetilena (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
45. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Karbon Monoksida (500 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*

46. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Karbon Monoksida (200 ppm) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (29).*
47. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Karbon Monoksida (200 ppm) Then keadaan Transformator is Normal (12).*
48. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Karbon Monoksida (1500 ppm) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (28).*
49. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Karbon Dioksida (4500 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
50. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Karbon dioksida (4500 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
51. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Nitrogen (100000 ppm) And Normal Karbon Dioksida (1500 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
52. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Sangat Tinggi Nitrogen (2.5jt ppm) AND Normal karbon Dioksida (1500 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
53. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etilena (150) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
54. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etilena (25 ppm) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (29).*
55. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Etilena (75) Then keadaan Transformator is Normal (12).*

56. *If Tinggi TDCG (1000 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Etilena (250 ppm) Then Keadaan Transformator Is Perbaikan (21).*
57. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Hidrogen (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
58. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Hidrogen (50 ppm) Then keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
59. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Hidrogen (1000 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
60. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Hidrogen (50 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
61. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Metana (700 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
62. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Metana (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
63. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Metana (700 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
64. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Metana (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
65. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etana (150 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
66. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etana (30 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
67. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Etana (150 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
68. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Etana (150 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
69. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Asetilena (80 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*

70. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Asetilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
71. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Asetilena (80 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
72. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Asetilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
73. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Karbon Monoksida (600 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
74. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Karbon Monoksida (150 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
75. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Karbon Monoksida (600 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
76. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Karbon Monoksida (150 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
77. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Sangat Tinggi Karbon Dioksida (4000 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
78. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Sangat Tinggi Nitrogen (2.5jt ppm) AND Not Sangat Tinggi Karbon Dioksida (1500 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (44).*
79. *If Normal TDCG (500 ppm) AND AND Not Sangat Tinggi Nitrogen (100000 ppm) AND Not Sangat Tinggi Karbon Dioksida (1500 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*

80. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Sangat Tinggi Karbon Dioksida (4000 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*
81. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Not Normal Etilena (100 ppm) Then Keadaan Transformator is Berbahaya (51).*
82. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Not Normal Nitrogen (1.75jt ppm) AND Normal Etilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator is Perbaikan (29).*
83. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Not Normal Etilena (100 ppm) Then Keadaan Transformator Normal (12).*
84. *If Normal TDCG (500 ppm) AND Normal Nitrogen (100000 ppm) AND Normal Etilena (20 ppm) Then Keadaan Transformator is Normal (12).*

Berdasarkan hasil pengujian aturan-aturan sebanyak 84 aturan, maka dapat kita analisis bahwa gas yang paling berpengaruh dalam analisis indikasi terjadinya gangguan pada minyak isolasi transformator adalah konsentrasi dari gas TDCG dan nitrogen, hal ini dapat kita lihat pada saat salah satu dari nilai TDCG dan Nitrogen berada pada tingkat yang tinggi keadaan minyak isolasi berada pada keadaan perbaikan/agak buruk atau berbahaya.

4.2 Hasil Keadaan Minyak Isolasi Transformator melalui Logika Fuzzy dengan Hasil Tegangan Tembusnya.

a. Transformator 1 Babadan

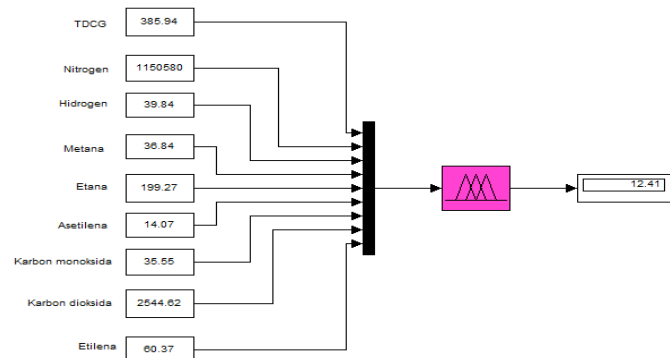
Data gas hasil uji DGA untuk transformator 1 Babadan sesuai dengan lampiran 1 ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Data DGA Transformator 1 Babadan

| No | Gas | Konsentrasi (ppm) |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | TDCG | 385.94 |
| 2 | Hidrogen | 39.84 |
| 3 | Nitrogen | 1150580 |
| 4 | Metana | 36.84 |
| 5 | Karbon Monoksida | 35.55 |
| 6 | Karbon Dioksida | 2544.62 |
| 7 | Etilena | 60.37 |
| 8 | Etana | 199.27 |
| 9 | Asetilena | 14.07 |



SIMULASI MENENTUKAN KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR



Gambar 4.12 Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Babadan

Keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi pada Transformator 1 Babadan setelah di masukkan kesembilan konsentrasi gas masukan pada tabel 4.1, ditunjukkan pada gambar 4.12. Keluaran derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi transformator 1 Babadan berada pada “12.41”, hasil ini menandakan bahwa minyak isolasi Transformator 1 Babadan berada pada keadaan “*normal*” dan tidak ada terjadi indikasi gangguan pada minyak isolasi transformator, hal ini dapat juga dapat di analisis dari hasil data gas DGA dimana konsentrasi setiap gas berada pada batas keadaan normal. Dari hasil fuzzyfikasi yang diperoleh maka tidak perlu diadakan pengecekan rutin untuk mencegah kegagalan transformator.

Berdasarkan data karakteristik tegangan tembus yang ada pada lampiran 2, transformator 1 Babadan memiliki hasil uji 68.4, yaitu berada pada keadaan “bagus/normal”, hasil tegangan tembus ini sama atau sesuai dengan hasil yang diperoleh menggunakan logika fuzzy yaitu minyak isolasi berada pada keadaan normal.

b. Transformator 3 Babadan

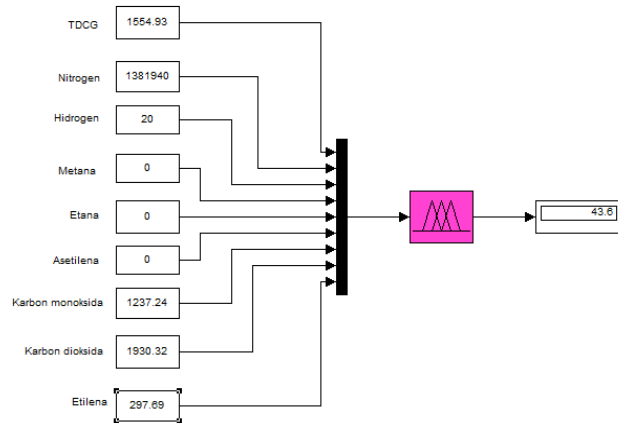
Data gas hasil uji DGA untuk Transformator 3 Babadan yang sesuai dengan lampiran 3 ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.2 Data DGA Transformator 2 Babadan

| No | Gas | Konsentrasi (ppm) |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | TDCG | 1554.93 |
| 2 | Hidrogen | 20 |
| 3 | Nitrogen | 1381940 |
| 4 | Metana | 0 |
| 5 | Karbon Monoksida | 1237.24 |
| 6 | Karbon Dioksida | 1930.32 |
| 7 | Etilena | 297.69 |
| 8 | Etana | 0 |
| 9 | Asetilena | 0 |



SIMULASI MENENTUKAN KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR



Gambar 4.13 Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 3 Babadan

Keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi pada Transformator 3 Babadan setelah di masukkan kesembilan konsentrasi gas masukan pada tabel 4.2 ditunjukkan pada gambar 4.13, keluaran derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi Transformator 3 Babadan berada pada “43.6”, hasil ini menandakan bahwa minyak isolasi Transformator 3 Babadan berada pada keadaan “*perbaikan*”, sehingga perlu diadakan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin untuk mencegah kegagalan transformator tersebut, hal ini dapat juga dapat di analisis dari hasil data gas DGA dimana beberapa konsentrasi gas berada pada batas atas keadaan normal.

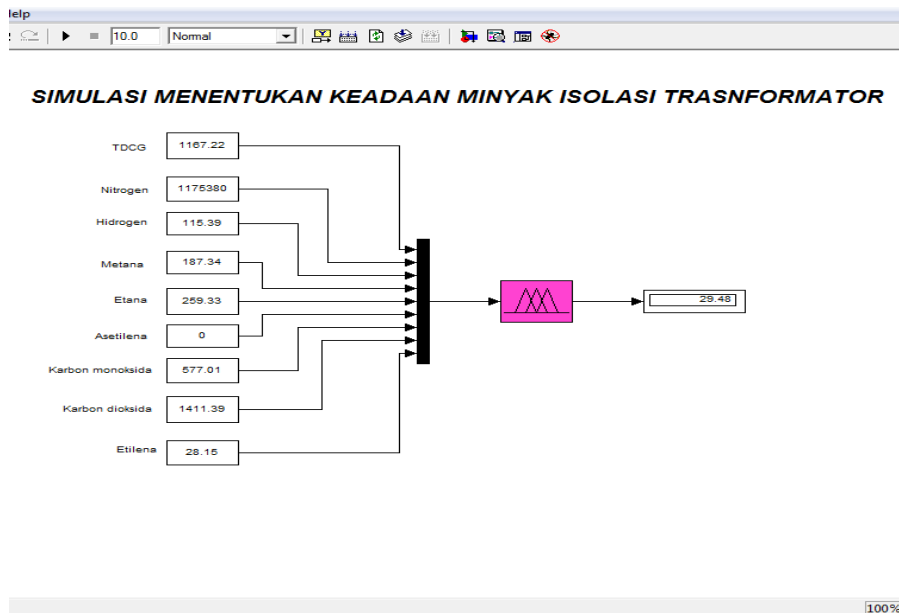
Berdasarkan data karakteristik tegangan tembus yang ada pada lampiran 4, Transformator 3 Babadan memiliki hasil uji 40.1, yaitu berada pada keadaan “kurang bagus /*perbaikan*”, hasil tegangan tembus ini sama atau sesuai dengan hasil yang diperoleh menggunakan logika fuzzy yaitu minyak isolasi berada pada keadaan perbaikan.

c. Transformator 2 Buduran

Data gas hasil uji DGA untuk Transformator 2 Buduran sesuai dengan lampiran 5, ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.3 Data DGA Transformator 2 Buduran

| No | Gas | Konsentrasi (ppm) |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | TDCG | 1167.22 |
| 2 | Hidrogen | 115.39 |
| 3 | Nitrogen | 1175380 |
| 4 | Metana | 187.34 |
| 5 | Karbon Monoksida | 577.01 |
| 6 | Karbon Dioksida | 1411.39 |
| 7 | Etilena | 28.15 |
| 8 | Etana | 259.33 |
| 9 | Asetilena | 0 |



Gambar 4.14 Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 2 Buduran

Keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi pada Transformator 2 Buduran setelah di masukkan kesembilan konsentrasi gas masukan pada tabel 4.3 ditunjukkan pada gambar 4.14, keluaran derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi Transformator 2 Buduran berada pada “29.48”, hasil ini menandakan bahwa minyak isolasi Transformator 2 Buduran berada pada keadaan “*perbaikan*”, sehingga perlu diadakan pemeriksaan rutin untuk mencegah kegagalan transformator tersebut, hal ini dapat juga dapat di analisis dari hasil data gas DGA dimana beberapa konsentrasi setiap gas berada pada batas atas keadaan normal.

Berdasarkan data karakteristik tegangan tembus yang ada pada lampiran 6, Transformator 2 Buduran memiliki hasil uji 43.6, yaitu berada pada keadaan “kurang bagus /*perbaikan*”, hasil tegangan tembus ini sama atau sesuai dengan hasil yang diperoleh menggunakan logika fuzzy yaitu minyak isolasi berada pada keadaan perbaikan.

d. Transformator 5 Buduran

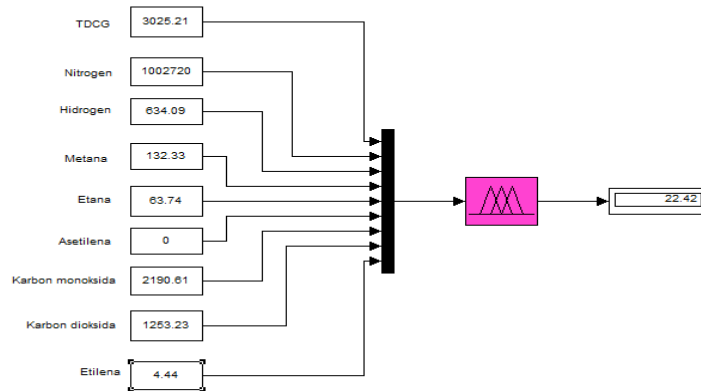
Data gas hasil uji DGA untuk Transformator 5 Buduran sesuai dengan lampiran 7 ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.4 Data DGA Transformator 5 Buduran

| No | Gas | Konsentrasi (ppm) |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | TDCG | 3025.21 |
| 2 | Hidrogen | 634.09 |
| 3 | Nitrogen | 1002720 |
| 4 | Metana | 132.33 |
| 5 | Karbon Monoksida | 2190.61 |
| 6 | Karbon Dioksida | 1253.23 |
| 7 | Etilena | 4.44 |
| 8 | Etana | 63.74 |
| 9 | Asetilena | 0 |



SIMULASI MENENTUKAN KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR



Gambar 4.15 Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 5 Buduran

Keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi pada Transformator 5 Buduran setelah di masukkan kesembilan konsentrasi gas masukan pada tabel 4.4 ditunjukkan pada gambar 4.15, keluaran derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi Transformator 5 Buduran berada pada “22.42”, hasil ini menandakan bahwa minyak isolasi Transformator 5 Buduran berada pada keadaan “*perbaikan*”, sehingga perlu dilakukan pemeliharaan dan pemeriksaan rutin untuk mencegah kegagalan transformator tersebut, hal ini dapat juga dapat di analisis dari hasil data gas DGA dimana beberapa konsentrasi setiap gas berada pada batas atas keadaan normal.

Berdasarkan data karakteristik tegangan tembus yang ada pada lampiran 8, transformator 5 Buduran memiliki hasil uji 45.2, yaitu berada pada keadaan “kurang bagus/perbaikan”, hasil tegangan tembus ini sama atau sesuai dengan hasil yang diperoleh menggunakan logika fuzzy yaitu minyak isolasi berada pada keadaan perbaikan.

e. Transformator 1 Waru

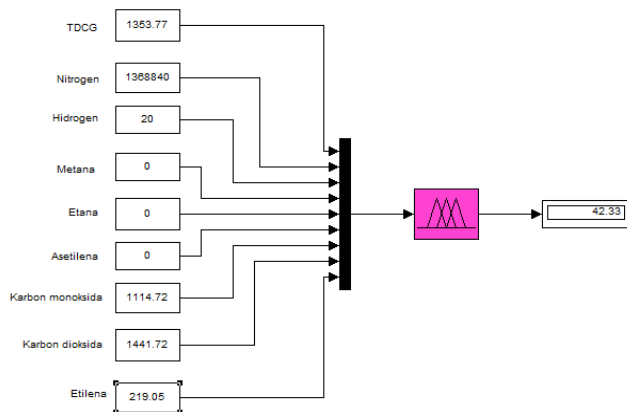
Data gas hasil uji DGA untuk Transformator 1 Waru sesuai dengan lampiran 9 ditunjukkan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.5 Data DGA Transformator 1 Waru

| No | Gas | Konsentrasi (ppm) |
|----|------------------|-------------------|
| 1 | TDCG | 1353.77 |
| 2 | Hidrogen | 20 |
| 3 | Nitrogen | 1368840 |
| 4 | Metana | 0 |
| 5 | Karbon Monoksida | 1114.72 |
| 6 | Karbon Dioksida | 1441.52 |
| 7 | Etilena | 219.05 |
| 8 | Etana | 0 |
| 9 | Asetilena | 0 |



SIMULASI MENENTUKAN KEADAAN MINYAK ISOLASI TRANSFORMATOR



Gambar 4.16 Hasil Keluaran Logika Fuzzy untuk Transformator 1 Waru

Keluaran logika fuzzy untuk keadaan minyak isolasi pada Transformator 1 Waru setelah di masukkan kesembilan konsentrasi gas masukan pada tabel 4.9 ditunjukkan pada gambar 4.16, keluaran derajat keanggotaan keadaan minyak isolasi Transformator 1 Waru berada pada “42.33”, hasil ini menandakan bahwa minyak isolasi Transformator 1 Waru berada pada keadaan “*perbaikan*”, sehingga perlu dilakukan perawatan dan pemeriksaan rutin untuk mencegah kegagalan transformator tersebut, hal ini dapat juga dapat di analisis dari hasil data gas DGA dimana beberapa konsentrasi setiap gas berada pada batas atas keadaan normal.

Berdasarkan data karakteristik tegangan tembus yang ada pada lampiran 10, Transformator 1 Waru memiliki hasil uji 41.3, yaitu berada pada keadaan “kurang bagus /*perbaikan*”, hasil tegangan tembus ini sama atau sesuai dengan hasil yang diperoleh menggunakan logika fuzzy yaitu minyak isolasi berada pada keadaan perbaikan.

Dari lima data transformator pada gardu induk yang berbeda diatas maka dapat kita lihat hubungan antara keadaan minyak isolasi yang diperoleh dari pengolahan data DGA menggunakan logika fuzzy dengan karakteristik tegangan

tembus minyak isolasi yang dihasilkan oleh PLN. Tabel 4.10 merupakan hasil dari keadaan minyak isolasi menggunakan Logika fuzzy dengan karakteristik tegangan tembus, yaitu:

Tabel 4.6 Hubungan keadaan minyak isolasi DGA-Fuzzy dengan Tegangan Tembus

| No | Transformator | DGA-Fuzzy | Tegangan Tembus (kV) |
|----|-------------------------|-----------|----------------------|
| 1 | Transformator 1 Babadan | 12.41 | 68.4 |
| 2 | Transformator 5 Buduran | 22.42 | 45.2 |
| 3 | Transformator 2 Buduran | 29.48 | 43.6 |
| 4 | Transformator 1 Waru | 42.33 | 41.3 |
| 5 | Transformator 3 Babadan | 43.6 | 40.1 |

Dari data hasil keadaan minyak isolasi yang ada pada tabel 4.10 diatas, membuktikan bahwa hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh menggunakan metode DGA dan Logika Fuzzy cukup akurat dalam menentukan keadaan minyak isolasi tranformator, hal ini bisa dikatakan karena hasil logika fuzzy untuk menentukan keadaan minyak isolasi sesuai dengan hasil karakteristik tegangan tembus minyak isolasi transformator, dengan ketentuan semakin rendah nilai hasil keadaan minyak isolasi melalui DGA dan fuzzy (semakin baik/bagus keadaan minyak isolasi), maka semakin tinggi nilai tegangan tembusnya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan maka dalam pada penyelesaian tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Keadaan minyak isolasi dari ketiga transformator yang ada pada Gardu Induk 150 kV dapat ditentukan dengan menggunakan data DGA dan Logika Fuzzy dengan fungsi keanggotaan yang dikembangkan sesuai dengan standar IEEE.
2. Berdasarkan pengujian aturan maka yang gas paling berpengaruh dalam menentukan keadaan minyak isolasi transformator adalah gas TDCG dan nitrogen.
3. Hasil keadaan minyak isolasi yang diperoleh menggunakan Logika Fuzzy sesuai dengan keadaan minyak isolasi dengan metode pengujian tegangan tembus yaitu semakin kecil hasil derajat keanggotaan minyak isolasi dengan nilai 0-25 (minyak isolasi semakin baik) dengan menggunakan logika fuzzy, maka semakin tinggi nilai tegangan tembusnya (< 50 kV).

5.2 Saran

Pengolahan data DGA untuk menentukan keadaan minyak isolasi dengan metode Logika Fuzzy dalam penyelesaian tugas akhir ini merupakan salah satu langkah awal yang masih harus dikembangkan yang diharapkan dalam penelitian selanjutnya lebih dikembangkan kearah perangkat kerasnya (*hardware*) sehingga untuk menentukan keadaan minyak isolasi dapat langsung dilakukan di transformator yang akan di uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Artono, 1975. "*Teknik Tegangan Tinggi*". Pradya Paramita.
- Balint Nemeth et al," *Condition Monitoring of Power Transformers using DGA and Fuzzy Logic*" IEEE Electrical Insulation Conference, Montreal, Canada, 31 May-3 June 2009
- Dhlimini, Sizwe Magiya. "*Transformator Diagnosis Using Artificial Intelilligent and Dissolved Gas Analysis*". University of the Witwatersrand : 2007.
- IEC 60599,2007."*Mineral Oil-Impregnated Electrical Equipment in Service*".Edition 2.1.
- IEEE Power & Energy Society, 2009. "*IEEE Guide For the Interpretation Of Gases Generated in Oli-Immersed Transformer*". Revision of IEEE Std C57.104-1991. New York.
- K. M. Gradnik, "*Physical-Chemical Oil Tests, Monitoring and Diagnostic of Oil-filled Transformers*" Proceedings of 14th International Conference on Dielectric Liquids, Austria, July 2002.
- Kusumadewi, Sri, dkk, 2006. "*Fuzzy Multi-Attribute Decision Making*".Edisi pertama.Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu
- Kuswadi, Son, 2007. "*Kendali Cerdas, Teori dan Aplikasi Praktisnya*". Edisi Pertama. Yogyakarta : Andi
- SPLN, 2007. "*Transformator Tenaga*". PT PLN Persero.
- S.M. Islam et al,"*A Novel Fuzzy Logic Approach to Transformer Fault Diagnosis*", *IEEE on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol.7,No.2, pp.177-186. 2000

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data DGA Transformator 1 Babadan



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 11042802
 Nama Sampel : Babadan Trafo 1, 150 / 20 KV, 50 MVA
 Tanggal Sampling : 27 Apr 2011
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

| Konsentrasi Gas terdeteksi | | |
|--|--------------|---|
| | ppm (v/v) | K |
| Hydrogen (H2) | 39,84 | 1 |
| Nitrogen (N2) | 1.150.580,00 | |
| Methane (CH4) | 36,84 | 1 |
| Carbon Monoxide (CO) | 35,55 | 1 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 2.544,62 | 2 |
| Ethylene (C2H4) | 60,37 | 2 |
| Ethane (C2H6) | 199,27 | 4 |
| Acetylene (C2H2) | 14,07 | 1 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 385,94 | 1 |

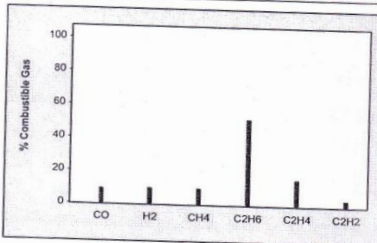
| Tabel IEEE_Limits (Kondisi Level) | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
| 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| 50 | 100 | 200 | > 200 |
| 65 | 100 | 150 | > 150 |
| 35 | 50 | 80 | > 80 |
| 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

| Analisa Gangguan dengan TDCG | |
|---------------------------------------|---|
| Total Dissolves Combustible Gas (ppm) | 385,94 |
| Kondisi Level | 1 |
| Hasil Diagnosa | Normal |
| Catatan Penting | TDCG level mengindikasikan trafo beroperasi Normal. Untuk Combustible gas yang secara individu melebihi batas normal sebaiknya tetap dilakukan investigasi. |

| Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|
| | ppm (v/v) | Persen |
| Carbon Monoxide (CO) | 35,55 | 9,20 |
| Hydrogen (H2) | 39,84 | 10,30 |
| Methane (CH4) | 36,84 | 9,50 |
| Ethane (C2H6) | 199,27 | 51,53 |
| Ethylene (C2H4) | 60,37 | 15,60 |
| Acetylene (C2H2) | 14,07 | 3,60 |

| Analisa Gangguan dengan Gas Kunci | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| Gas Kunci penentu | |
| Hasil Diagnosa | Normal |
| Keterangan | Trafo beroperasi normal. |



Lampiran 2

Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 1 Babadan



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

HASIL UJI KARAKTERISTIK MINYAK TRAF0

DATA FILE : 11042802
NAMA SAMPEL : Babadan Trafo 1, 150 / 20 KV, 50 MVA
TANGGAL SAMPLING : 27/04/2011

| DETIL HASIL UJI KARAKTERISTIK | | | | | NILAI BATAS | | | CATATAN |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|
| No | Tgl. Uji | Parameter Pengujian | Hasil Uji | Kondisi | Bagus | Kurang | Tdk Layak | Metode Uji |
| 1. | 28/04/2011 | Tegangan Tembus (KV/2.5 mm) | 68.40 | Bagus | > 50 | 40 - 50 | < 40 | IEC 156 |
| 2. | 28/04/2011 | Kadar Air Terkoreksi pd 20 C (ppm) | 6.50 | Kurang | < 5 | 5 - 15 | > 15 | IEC 814 |
| 3. | 28/04/2011 | Kadar Asam (mg KOH/g) | 0.14 | Bagus | < 0.15 | 0.15 - 0.2 | > 0.2 | IEC 296 |
| 4. | 28/04/2011 | Tegangan Permukaan (Dynes/cm) | 34.20 | Bagus | > 32 | 28 - 32 | < 28 | ISO 6295 |
| 5. | 28/04/2011 | Warna (ASTM D-1500) | 1.30 | Bagus | <= 3.5 | - | > 3.5 | ASTM D-1500 |
| 6. | - | Viskositas | Tidak diuji | - | < 12 | - | > 12 | - |
| 7. | 28/04/2011 | Sedimen (% berat) | 0.00 | Bagus | Nihil | <= 0.02 | > 0.02 | - |
| 8. | 28/04/2011 | Titik Nyala (Celcius) | 149.00 | Penurunan maximum 10 % dibanding dengan minyak baru . | | | | ISO 2719 |

Lampiran 3

Data DGA Transformator 3 Babadan



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 11042803
 Nama Sampel : Babadan Trafo 3, 150 / 20 KV, 50 MVA
 Tanggal Sampling : 27 Apr 2011
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

| Konsentrasi Gas terdeteksi | | | Tabel IEEE_Limits (Kondisi Level) | | | |
|--|--------------|---|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | ppm (v/v) | K | Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
| Hydrogen (H2) | 20,00 | 1 | 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| Nitrogen (N2) | 1.381,940,00 | | | | | |
| Methane (CH4) | 0,00 | 1 | 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| Carbon Monoxide (CO) | 1.237,24 | 3 | 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 1.930,32 | 1 | 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| Ethylene (C2H4) | 297,69 | 4 | 50 | 100 | 200 | > 200 |
| Ethane (C2H6) | 0,00 | 1 | 65 | 100 | 150 | > 150 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 1 | 35 | 50 | 80 | > 80 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 1.554,93 | 2 | 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

| Analisa Gangguan dengan TDCG | Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------|-------------------|--------|----------------------|----------|-------|---------------|-------|------|---------------|------|-------|---------------|------|------|-----------------|--------|-------|------------------|------|------|
| <p>Total Dissolves Combustible Gas (ppm) 1.554,93</p> <p>Kondisi Level 2</p> <p>Hasil Diagnosa</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Dekomposisi Ringan</p> <p>Catatan Penting</p> <p style="font-size: small;">TDCG level melebihi batas Normal. Lakukan tindakan pencegahan agar gejala tidak terus berlanjut. Untuk masing masing gas kunci yang melebihi batas normal sebaiknya tetap dilakukan investigasi.</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">ppm (v/v)</th> <th style="text-align: center;">Persen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon Monoxide (CO)</td> <td style="text-align: center;">1.237,24</td> <td style="text-align: center;">79,60</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen (H2)</td> <td style="text-align: center;">20,00</td> <td style="text-align: center;">1,30</td> </tr> <tr> <td>Methane (CH4)</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td>Ethane (C2H6)</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> <tr> <td>Ethylene (C2H4)</td> <td style="text-align: center;">297,69</td> <td style="text-align: center;">19,10</td> </tr> <tr> <td>Acetylene (C2H2)</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> <td style="text-align: center;">0,00</td> </tr> </tbody> </table> | | ppm (v/v) | Persen | Carbon Monoxide (CO) | 1.237,24 | 79,60 | Hydrogen (H2) | 20,00 | 1,30 | Methane (CH4) | 0,00 | 0,00 | Ethane (C2H6) | 0,00 | 0,00 | Ethylene (C2H4) | 297,69 | 19,10 | Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 |
| | ppm (v/v) | Persen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carbon Monoxide (CO) | 1.237,24 | 79,60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hydrogen (H2) | 20,00 | 1,30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Methane (CH4) | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ethane (C2H6) | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ethylene (C2H4) | 297,69 | 19,10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p style="text-align: center;">Analisa Gangguan dengan Gas Kunci</p> <p>Gas Kunci penentu Carbon</p> <p>Hasil Diagnosa</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Dekomposisi isolasi kertas "Cellulose".</p> <p>Keterangan</p> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Termal-Cellulose: Menyebabkan kenaikan konsentrasi Carbon Monoxide</p> | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <caption>Data for % Combustible Gas Chart</caption> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>% Combustible Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO</td> <td>79.60</td> </tr> <tr> <td>H2</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>CH4</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C2H6</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>C2H4</td> <td>19.10</td> </tr> <tr> <td>C2H2</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table> | Gas | % Combustible Gas | CO | 79.60 | H2 | 1.30 | CH4 | 0.00 | C2H6 | 0.00 | C2H4 | 19.10 | C2H2 | 0.00 | | | | | | | |
| Gas | % Combustible Gas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO | 79.60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H2 | 1.30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CH4 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H6 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H4 | 19.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H2 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Lampiran 4

Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 3 Babadan



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

HASIL UJI KARAKTERISTIK MINYAK TRAF0

DATA FILE : 11042803
 NAMA SAMPEL : Babadan Trafo 3, 150 / 20 KV, 50 MVA
 TANGGAL SAMPLING : 27/04/2011

| DETIL HASIL UJI KARAKTERISTIK | | | | | NILAI BATAS | | | CATATAN |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|
| No | Tgl. Uji | Parameter Pengujian | Hasil Uji | Kondisi | Bagus | Kurang | Tdk Layak | Metode Uji |
| 1. | 28/04/2011 | Tegangan Tembus (KV/2.5 mm) | 40.10 | Kurang | > 50 | 40 - 50 | < 40 | IEC 156 |
| 2. | 28/04/2011 | Kadar Air Terkoreksi pd 20 C (ppm) | 5.89 | Kurang | < 5 | 5 - 15 | > 15 | IEC 814 |
| 3. | 28/04/2011 | Kadar Asam (mg KOH/g) | 0.17 | Kurang | < 0.15 | 0.15 - 0.2 | > 0.2 | IEC 296 |
| 4. | 28/04/2011 | Tegangan Permukaan (Dynes/cm) | 33.20 | Bagus | > 32 | 28 - 32 | < 28 | ISO 6295 |
| 5. | 28/04/2011 | Warna (ASTM D-1500) | 2.50 | Bagus | < = 3.5 | - | > 3.5 | ASTM D-1500 |
| 6. | - | Viskositas | Tidak diuji | - | < 12 | - | > 12 | - |
| 7. | 28/04/2011 | Sedimen (% berat) | 0.02 | Tidak layak | Nihil | < = 0.02 | > 0.02 | - |
| 8. | 28/04/2011 | Titik Nyala (Celcius) | 147.00 | Penurunan maximum 10 % dibanding dengan minyak baru . | | | | ISO 2719 |

Hal. 1

Lampiran 5

Data DGA Transformator 2 Buduran



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 11041403
 Nama Sampel : Buduran Trafo 2, 150 / 20 KV, 60 MVA
 Tanggal Sampling : 14 Apr 2011
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

| Konsentrasi Gas terdeteksi | | | Tabel IEEE Limits (Kondisi Level) | | | |
|--|--------------|---|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | ppm (v/v) | K | Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
| Hydrogen (H2) | 115,39 | 2 | 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| Nitrogen (N2) | 1,175,380,00 | | | | | |
| Methane (CH4) | 187,34 | 2 | 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| Carbon Monoxide (CO) | 577,01 | 3 | 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 1,411,39 | 1 | 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| Ethylene (C2H4) | 28,15 | 1 | 50 | 100 | 200 | > 200 |
| Ethane (C2H6) | 259,33 | 4 | 65 | 100 | 150 | > 150 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 1 | 35 | 50 | 80 | > 80 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 1,167,22 | 2 | 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

| Analisa Gangguan dengan TDCG | Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|--------|-------------------|--------|----------------------|--------|-------|---------------|--------|------|---------------|--------|-------|---------------|--------|-------|-----------------|-------|------|------------------|------|------|
| Total Dissolves Combustible Gas (ppm) : 1,167,22 Kondisi Level : 2 Hasil Diagnosa : Dekomposisi Ringan Catatan Penting : TDCG level melebihi batas Normal. Lakukan tindakan pencegahan agar gejala tidak terus berlanjut. Untuk masing masing gas kunci yang melebihi batas normal sebaiknya tetap dilakukan investigasi. | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>ppm (v/v)</th> <th>Persen</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carbon Monoxide (CO)</td> <td>577,01</td> <td>49,40</td> </tr> <tr> <td>Hydrogen (H2)</td> <td>115,39</td> <td>9,90</td> </tr> <tr> <td>Methane (CH4)</td> <td>187,34</td> <td>16,10</td> </tr> <tr> <td>Ethane (C2H6)</td> <td>259,33</td> <td>22,22</td> </tr> <tr> <td>Ethylene (C2H4)</td> <td>28,15</td> <td>2,40</td> </tr> <tr> <td>Acetylene (C2H2)</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table> | | ppm (v/v) | Persen | Carbon Monoxide (CO) | 577,01 | 49,40 | Hydrogen (H2) | 115,39 | 9,90 | Methane (CH4) | 187,34 | 16,10 | Ethane (C2H6) | 259,33 | 22,22 | Ethylene (C2H4) | 28,15 | 2,40 | Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 |
| | ppm (v/v) | Persen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carbon Monoxide (CO) | 577,01 | 49,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hydrogen (H2) | 115,39 | 9,90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Methane (CH4) | 187,34 | 16,10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ethane (C2H6) | 259,33 | 22,22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ethylene (C2H4) | 28,15 | 2,40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Analisa Gangguan dengan Gas Kunci Gas Kunci penentu : Ethylene Hasil Diagnosa : Temperatur berlebih level rendah Keterangan : Thermal-Oil: Menyebabkan dekomposisi dalam bentuk C2H4 dan CH4, sedikit H2 dan C2H6. Jumlah kecil C2H2 bisa juga akan muncul bila gangguan serius atau melibatkan electrical contracts. Gangguan yang terjadi juga mempengaruhi isolasi kertas "Cellulose" | <table border="1"> <caption>% Combustible Gas</caption> <thead> <tr> <th>Gas</th> <th>% Combustible Gas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO</td> <td>49.40</td> </tr> <tr> <td>H2</td> <td>9.90</td> </tr> <tr> <td>CH4</td> <td>16.10</td> </tr> <tr> <td>C2H6</td> <td>22.22</td> </tr> <tr> <td>C2H4</td> <td>2.40</td> </tr> <tr> <td>C2H2</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table> | Gas | % Combustible Gas | CO | 49.40 | H2 | 9.90 | CH4 | 16.10 | C2H6 | 22.22 | C2H4 | 2.40 | C2H2 | 0.00 | | | | | | | |
| Gas | % Combustible Gas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CO | 49.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H2 | 9.90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CH4 | 16.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H6 | 22.22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H4 | 2.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C2H2 | 0.00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Lampiran 6

Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 2 Buduran



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

HASIL UJI KARAKTERISTIK MINYAK TRAF0

DATA FILE : 11041403
 NAMA SAMPEL : Buduran Trafo 2, 150 / 20 KV, 60 MVA
 TANGGAL SAMPLING : 14/04/2011

| DETIL HASIL UJI KARAKTERISTIK | | | | | NILAI BATAS | | | CATATAN |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|
| No | Tgl. Uji | Parameter Pengujian | Hasil Uji | Kondisi | Bagus | Kurang | Tdk Layak | Metode Uji |
| 1. | 14/04/2011 | Tegangan Tembus (KV/2.5 mm) | 43.60 | Kurang | > 50 | 40 - 50 | < 40 | IEC 156 |
| 2. | 14/04/2011 | Kadar Air Terkoreksi pd 20 C (ppm) | 2.73 | Bagus | < 5 | 5 - 15 | > 15 | IEC 814 |
| 3. | 14/04/2011 | Kadar Asam (mg KOH/g) | 0.14 | Bagus | < 0.15 | 0.15 - 0.2 | > 0.2 | IEC 296 |
| 4. | 14/04/2011 | Tegangan Permukaan (Dynes/cm) | 32.90 | Bagus | > 32 | 28 - 32 | < 28 | ISO 6295 |
| 5. | 14/04/2011 | Warna (ASTM D-1500) | 1.90 | Bagus | < = 3.5 | - | > 3.5 | ASTM D-1500 |
| 6. | - | Viskositas | Tidak diuji | - | < 12 | - | > 12 | - |
| 7. | 14/04/2011 | Sedimen (% berat) | 0.00 | Bagus | Nihil | < = 0.02 | > 0.02 | - |
| 8. | 14/04/2011 | Titik Nyala (Celcius) | 149.00 | Penurunan maximum 10 % dibanding dengan minyak baru . | | | | ISO 2719 |

Lampiran 7

Data DGA Transformator 5 Buduran



Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 11041405
 Nama Sampel : Buduran Trafo 5, 70 / 20 KV, 20 MVA
 Tanggal Sampling : 14 Apr 2011
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

| Konsentrasi Gas terdeteksi | | |
|--|--------------|---|
| | ppm (v/v) | K |
| Hydrogen (H2) | 634,09 | 2 |
| Nitrogen (N2) | 1,002,720,00 | |
| Methane (CH4) | 132,33 | 2 |
| Carbon Monoxide (CO) | 2,190,61 | 4 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 1,253,23 | 1 |
| Ethylene (C2H4) | 4,44 | 1 |
| Ethane (C2H6) | 63,74 | 1 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 1 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 3,025,21 | 3 |

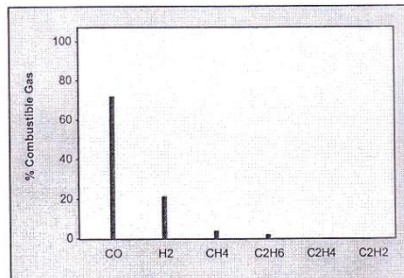
| Tabel IEEE Limits (Kondisi Level) | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
| 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| 50 | 100 | 200 | > 200 |
| 65 | 100 | 150 | > 150 |
| 35 | 50 | 80 | > 80 |
| 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

| Analisa Gangguan dengan TDCG | |
|---------------------------------------|---|
| Total Dissolves Combustible Gas (ppm) | 3,025,21 |
| Kondisi Level | 3 |
| Hasil Diagnosa | Dekomposisi Tingkat Tinggi |
| Catatan Penting | TDCG pada level ini menunjukkan telah terjadi dekomposisi tingkat tinggi, segera lakukan tindakan pencegahan agar gangguan tidak terus berlanjut. Lakukan investigasi lebih cermat untuk masing masing Combustible gas yang terdeteksi. |

| Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci | | |
|---------------------------------------|-------------|--------|
| | ppm (v/v) | Persen |
| Carbon Monoxide (CO) | 2,190,61 | 72,40 |
| Hydrogen (H2) | 634,09 | 21,00 |
| Methane (CH4) | 132,33 | 4,40 |
| Ethane (C2H6) | 63,74 | 2,11 |
| Ethylene (C2H4) | 4,44 | 0,10 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 |

| Analisa Gangguan dengan Gas Kunci | |
|-----------------------------------|--|
| Gas Kunci penentu | Carbon Monoxide |
| Hasil Diagnosa | Dekomposisi isolasi kertas "Cellulose". |
| Keterangan | Termal-Cellulose: Menyebabkan kenaikan konsentrasi Carbon Monoxide |



Lampiran 8

Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 5 Buduran



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

HASIL UJI KARAKTERISTIK MINYAK TRAFU

DATA FILE : 11041405
 NAMA SAMPEL : Buduran Trafo 5, 70 / 20 KV, 20 MVA
 TANGGAL SAMPLING : 14/04/2011

| DETIL HASIL UJI KARAKTERISTIK | | | | | NILAI BATAS | | | CATATAN |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|
| No | Tgl. Uji | Parameter Pengujian | Hasil Uji | Kondisi | Bagus | Kurang | Tdk Layak | Metode Uji |
| 1. | 14/04/2011 | Tegangan Tembus (KV/2.5 mm) | 45.20 | Kurang | > 50 | 40 - 50 | < 40 | IEC 156 |
| 2. | 14/04/2011 | Kadar Air Terkoreksi pd 20 C (ppm) | 5.94 | Bagus | < 10 | 10 - 25 | > 25 | IEC 814 |
| 3. | 14/04/2011 | Kadar Asam (mg KOH/g) | 0.18 | Kurang | < 0.15 | 0.15 - 0.3 | > 0.3 | IEC 296 |
| 4. | 14/04/2011 | Tegangan Permukaan (Dynes/cm) | 30.50 | Bagus | > 32 | 28 - 32 | < 28 | ISO 6295 |
| 5. | 14/04/2011 | Warna (ASTM D-1500) | 5.80 | Tidak layak | < = 3.5 | - | > 3.5 | ASTM D-1500 |
| 6. | - | Viskositas | Tidak diuji | - | < 12 | - | > 12 | - |
| 7. | 14/04/2011 | Sedimen (% berat) | 0.02 | Tidak layak | Nihil | < = 0.02 | > 0.02 | - |
| 8. | 14/04/2011 | Titik Nyala (Celcius) | 146.00 | Penurunan maximum 10 % dibanding dengan minyak baru . | | | | ISO 2719 |

Lampiran 9

Data DGA Transformator 1 Waru

Hasil Analisa Gas terlarut dalam Minyak Trafo dengan "Gas Chromatograph"

Data File : 11041306
 Nama Sampel : Waru Trafo 1, 150 / 20 KV, 50 MVA
 Tanggal Sampling : 13 Apr 2011
 Bagian trafo : Main Tank Bawah

Konsentrasi Gas terdeteksi

| | ppm (v/v) | K |
|--|--------------|---|
| Hydrogen (H2) | 20,00 | 1 |
| Nitrogen (N2) | 1,368,840,00 | |
| Methane (CH4) | 0,00 | 1 |
| Carbon Monoxide (CO) | 1,114,72 | 3 |
| Carbon Dioxide (CO2) | 1,441,52 | 1 |
| Ethylene (C2H4) | 219,05 | 4 |
| Ethane (C2H6) | 0,00 | 1 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 1 |
| Total Dissolves Combustible Gases (TDCG) | 1,353,77 | 2 |

Tabel IEEE Limits (Kondisi Level)

| Kondisi 1 | Kondisi 2 | Kondisi 3 | Kondisi 4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 100 | 700 | 1.800 | > 1.800 |
| 120 | 400 | 1.000 | > 1.000 |
| 350 | 570 | 1.400 | > 1.400 |
| 2.500 | 4.000 | 10.000 | > 10.000 |
| 50 | 100 | 200 | > 200 |
| 65 | 100 | 150 | > 150 |
| 35 | 50 | 80 | > 80 |
| 720 | 1.920 | 4.630 | > 4.630 |

Referensi: Gas Extraction from Oil (ANSI/IEEE Standard C57.104 - 1991 dan ASTM Test Method D - 3612)

Analisa Gangguan dengan TDCG

Total Dissolves Combustible Gas (ppm)

Kondisi Level

Hasil Diagnosa

Catatan Penting

TDCG level melebihi batas Normal. Lakukan tindakan pencegahan agar gejala tidak terus berlanjut. Untuk masing masing gas kunci yang melebihi batas normal sebaiknya tetap dilakukan investigasi.

Tabel Perbandingan (persen) Gas Kunci

| | ppm (v/v) | Persen |
|----------------------|-------------|--------|
| Carbon Monoxide (CO) | 1,114,72 | 82,30 |
| Hydrogen (H2) | 20,00 | 1,50 |
| Methane (CH4) | 0,00 | 0,00 |
| Ethane (C2H6) | 0,00 | 0,00 |
| Ethylene (C2H4) | 219,05 | 16,20 |
| Acetylene (C2H2) | 0,00 | 0,00 |

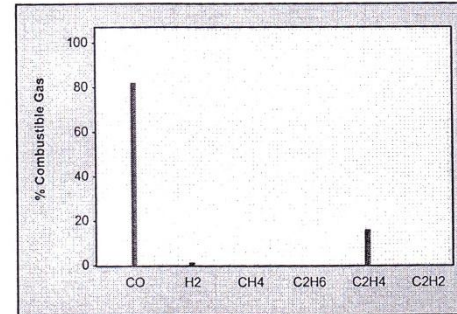
Analisa Gangguan dengan Gas Kunci

Gas Kunci penentu

Hasil Diagnosa

Keterangan

Termal-Cellulose: Menyebabkan kenaikan konsentrasi Carbon Monoxide



Lampiran 10

Karakteristik Tegangan Tembus Transformator 1 Waru



PT. PLN (PERSERO) P3B
REGION JAWA TIMUR & BALI

HASIL UJI KARAKTERISTIK MINYAK TRAF0

DATA FILE : 11041306
 NAMA SAMPEL : Waru Trafo 1, 150 / 20 KV, 50 MVA
 TANGGAL SAMPLING : 13/04/2011

| DETIL HASIL UJI KARAKTERISTIK | | | | | NILAI BATAS | | | CATATAN |
|-------------------------------|------------|------------------------------------|-------------|---|-------------|------------|-----------|-------------|
| No | Tgl. Uji | Parameter Pengujian | Hasil Uji | Kondisi | Bagus | Kurang | Tdk Layak | Metode Uji |
| 1. | 13/04/2011 | Tegangan Tembus (KV/2.5 mm) | 41.30 | Kurang | > 50 | 40 - 50 | < 40 | IEC 156 |
| 2. | 13/04/2011 | Kadar Air Terkoreksi pd 20 C (ppm) | 7.83 | Kurang | < 5 | 5 - 15 | > 15 | IEC 814 |
| 3. | 13/04/2011 | Kadar Asam (mg KOH/g) | 0.15 | Kurang | < 0.15 | 0.15 - 0.2 | > 0.2 | IEC 296 |
| 4. | 13/04/2011 | Tegangan Permukaan (Dynes/cm) | 34.20 | Bagus | > 32 | 28 - 32 | < 28 | ISO 6295 |
| 5. | 13/04/2011 | Warna (ASTM D-1500) | 2.60 | Bagus | < = 3.5 | - | > 3.5 | ASTM D-1500 |
| 6. | - | Viskositas | Tidak diuji | - | < 12 | - | > 12 | - |
| 7. | 13/04/2011 | Sedimen (% berat) | 0.02 | Tidak layak | Nihil | < = 0.02 | > 0.02 | - |
| 8. | 13/04/2011 | Titik Nyala (Celcius) | 148.00 | Penurunan maximum 10 % dibanding dengan minyak baru . | | | | ISO 2719 |

