

**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK**



**ANALISA KIMIA GAS
DALAM MINYAK TRAFU DISTRIBUSI 150/20 KV
MENGUNAKAN
FUZZY LOGIC DAN GENETIK ALGORITMA
PADA GARDU INDUK KEBONAGUNG**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

**SULIK HENDRA WAHYUDI
NIM.99.12.151**



APRIL 2005

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
KONFERENSI TEKNIK ELEKTRO 2010

ANALISA KIRAN GAS
DALAM RUMAH RAYA BERBASIS SISTEM
INTELEKTUAL
RIZKI ANGGRAENI DAN GIBRIL ALGHORANI
DIPERAGAKAN PADA URAIAN AGRI

12/11/2010

12/11/2010

REKAMERAN AGRI DAN RUMAH
12/11/2010

12/11/2010



LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA KIMIA GAS
DALAM MINYAK TRAF0 DISTRIBUSI 150/50 KV
MENGUNAKAN FUZZY LOGIC DAN GENETIK ALGORITMA
PADA GARDU INDUK KEBONAGUNG


SKRIPSI

*Disusun Guna Melengkapi dan Memenuhi Syarat-Syarat
Guna Mencapai Gelar Sarjana Teknik*

Disusun Oleh :

SULIK HENDRA WAHYUDI
NIM. 99.12.151

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 103 9500 274

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. 130 8900 209


Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT
NIP. 102 8700 171

**KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

SPECIAL THANKS TO: SPECIAL THANKS TO:

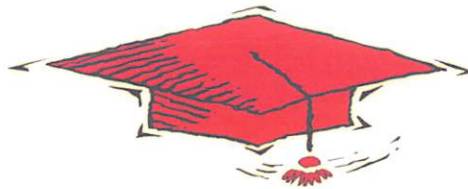
Sembah Sujudku Kepada

ALLAH S.W.T.

Yang memberi anugrah serta hidayah-Nya, serta teladaku Nabi

Mahammad S.A.W.

Buat ibunda dan Nenekku yang memberi kasih sayang, bimbingan dan doa yang tiada hentinya karena jasa dan pengorbananmu yang tulus dan ikhlas anakmu kini berhasil meraih gelar Sarjana Teknik, hanya doa yang bisa kupanjatkan ke hadirat illahi buat engkau sebagai terima kasihku kepadamu. Ibunda...pengorbanan dan perjuanganmu sungguh berat, engkau menyimpan surga ditelapak kakimu namun itu tak menjadikan kebanggaan dan kekuasaan atasmu melainkan diwujudkan menjadi kasih sayang tak terhingga, kelapangan hati dan persediaan maaf yang tak akan pernah habis. Ibunda...rintihan doa'mu disertai dengan tetesan air mata di kegelapan dan kesunyian malam senantiasa engkau panjatkan kehadiran illahi demi keberhasilan anakmu. Ibunda...engkau laksana busur bagi anak panah keberhasilan hidupku, engkau tersenyum dan menitikan air mata kebahagiaan dikala anakmu meraih kesuksesan dan engkau menitikan air mata kepahitan dikala anakmu durhaka kepadamu. Serta kakak-kakakku Medri, dan Adikku Yaya dan Eni yang terus-menerus memberi dorongan, semangat dan doanya.



Serta:

.....Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT (Dosen Pembimbing 1)

Terima kasih buanyak, atas dorongan semangat, bimbingan dan ilmunya sehingga saya bisa mengerti analisa kimia dan mampu dalam menyelesaikan Skripsi ini.

.....Bapak Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT (Dosen Pembimbing 2)

Terima kasih buanyak, atas bimbingan dan ilmunya sehingga saya bisa Mengetahui Program komputer dan mampu menyelesaikan Skripsi ini.

.....Bapak Ir.H.Almizan Abdullah, MSEE (Dosen Waliku)

Bapak baik deh! makasih selama ini sudah menganggap saya sebagai anak sendiri di kampus dan satu yang selalu kuingat dari nasihat bapak "terus belajar, berusaha dan berdoa". Maafin saya kalau selama ini saya sering buat masalah di kampus.

.....Mas Jayeng dan Bu Puji

Makasih Mas dan Ibu atas kesabaranmu kami akhirnya dapat lulus. Spesial Mas Jayeng bantuan, dorongan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi dan bantuan selama persiapan seminar sampai yudisium tak akan pernah kulupakan.

.....Pa'de Asikin

Makasih atas doa dan uang yang diberikan kepada saya untuk kelancaran skripsi ini, semoga UD Bina Manungga yang bapak pimpin lancer² saja.

ABSTRAKSI

ANALISA KIMIA GAS DALAM MINYAK TRAFU DISTRIBUSI 150/20 KV MENGUNAKAN FUZZY LOGIC DAN GENETIK ALGORITMA PADA GARDU INDUK KEBONAGUNG

(Sulik Hendra Wahyudi; 9912151;
Teknik Elektro Listrik S-1, 51 halaman)
(Dosen Pembimbing I Ir. Teguh Herbasuki, MT)
(Dosen Pembimbing II Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT)

Kata kunci: Fuzzy , Deteksi, Interpretasi, gangguan (*Fault*), Rogen's Rasio, minyak trafo, Genetik Algoritma.

Trafo peralatan yang penting dan mahal dalam sistem transmisi maupun distribusi, perawatan yang tepat merupakan salah satu cara agar kondisi trafo dalam keadaan baik dan dapat bekerja sesuai yang kita inginkan.

Pendeteksian dan interpretasi minyak trafo merupakan langkah awal untuk mengetahui kondisi dari trafo.

Pengembangan Rogen' s Rasio dengan cara fuzzy dan Genetik Algoritma dapat mengetahui jenis gangguan (fault) secara detail dan akurat untuk penanganan yang lebih tepat, dimana penanganan yang tepat dapat memaksimalkan umur dari peralatan trafo.

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji Syukur kehaditar Tuhan Yang Maha Esa berkat rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan SKRIPSI ini

Sebelum dan selama penyusunan skripsi ini, penyusun telah banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan banyak terima kasih kepada;

1. Bapak Dr. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Mochtar Asroni, MSME, selaku Dekan FTI Institut Teknologi Nasional Malang.
3. Bapak Ir. F.Yudi Limpraptono, MT, selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak Ir. Teguh Herbasuki, MT, selaku dosen pembimbing.
5. Bapak Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT, selaku dosen pembimbing.
6. Bapak Ir. Almizan Abdullah, MSEE, selaku dosen wali..
7. Untuk Keluargaku dan Nenekku yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil.
8. Untuk keluarga Endah dan samuel yang selalu membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini.
9. Untuk mas Ugro yang membantu penyelesaian program.
10. Untuk Welly yang telah meminjamkan printernya.

11. Serta semua pihak yang turut serta dalam membantu menyelesaikan skripsi ini.

Kami sadar sepenuhnya bahwa skripsi ini jauh dari kata sempurna, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan untuk perbaikan di laporan-laporan yang akan datang. Di akhir kata semoga laporan ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Malang, Maret 2004

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
ABSTRAKSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan.....	2
1.5. Metode Pembahasan	3
1.6. Kontribusi	3
1.7. Sistematika Penulisan	4

BAB II TRANSFORMATOR DAN KONTRUKSINYA

2.1. Pengertian Transformator	5
-------------------------------------	---

2.2. Konstruksi bagian-bagian transformator	6
2.2.1. Bagian Utama.....	6
2.2.1.1. Inti besi.....	6
2.2.1.2. Kumbaran Transformator.....	7
2.2.1.3. Minyak Transformator	7
2.2.1.4. Bushing	8
2.2.1.5. Tangki Konservator	11
2.2.2. Peralatan Bantu	11
2.2.2.1. Pendingin	11
2.2.2.2. Perubahan Tap (<i>Tap Changer</i>)	14
2.2.2.3. Alat pernafasan	17
2.2.2.4. Indikator.....	18
2.2.3. Peralatan Poteksi.....	18
2.2.3.1. Rele <i>Bucholz</i>	18
2.2.3.2. Pengaman tekanan lebih (<i>Explosive Membrane</i>) / <i>Bursting Plate</i>)	19
2.2.3.3. Rele Tekanan Lebih (<i>Sudden Pressure Relay</i>)	21
2.2.4. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator	21
2.2.4.1. Pemadam Kebakaran	21
2.2.4.2. Rele <i>Differensial</i>	24
2.2.4.3. Rele arus lebih (<i>Over current Relay</i>).....	25
2.2.4.4. Rele hubung tanah (<i>Ground Fault Relay</i>)	25
2.2.4.5. Rele tangki tanah.....	25
2.2.4.6. Rele <i>Termis</i>	25

BAB III STANDART DAN DASAR MINYAK TRAF0

3.1. Sistem Sampling Dan Analisa Gas	30
3.1.1. Pengambilan Sampel.....	30
3.1.2. Ekstrasi gas pada minyak.....	31
3.1.3. Analisa Gas Untuk Evaluasi	32
3.2. Interpretasi Gangguan.....	33
3.2.1. Total combustible gases.....	33
3.2.2. Komposisi gas.....	34

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Hukum Fuzzy.....	39
4.2. Genetik Algoritma	42
4.3. Hasil Analisa Data	46

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	51
5.2. Saran	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Inti Besi Dan Laminasi yang Diikat Fiber Glass Dalam Transformer....	6
2.2 Kumputan Fasa RST	7
2.3 Model Bushing Transformator.....	8
2.4 Konstruksi Bushing Transformator.....	9
2.5 Konservator Trafo	11
2.6 Susunan Motor Blower Sebagai	14
2.7 Perubahan Tap Tegangan Tinggi (OLTC).....	16
2.8 Rangkaian Skema Perubahan Tap.....	16
2.9 Tabung berisi kristal zat <i>Hygroskopis</i>	17
2.10 Alat Pengukur Suhu dan Indikator Permukaan Minyak	18
2.11 Rele <i>Bucholz</i>	19
2.12 Rele Bucholz Saat Bekerja Akibat Minyak Kurang Dalam Transformer	20
2.13 Rele Bucholz Saat Bekerja Akibat Akumulasi G	20
2.14 Rele Bucholz Saat Bekerja Akibat Flow minyak	20
2.15 Pengaman Tekanan Lebih.....	21
2.16 Bekerjanya pengaman ledakan	23
2.17 Bekerjanya <i>Shutter</i>	23
2.18 Jalan Kerja Pemadam Api.....	24
3.1 Untuk Ekstraksi Gas dari Minyak Isolasi	31
3.2 Diagram Sistem Kromatografi Gas.....	32

4.1	Triangular membership functions	40
4.2	Crossover dan mutation.....	44
4.3	Tampilan Jumlah data	47
4.4	Tampilan data program	47
4.5	Parameter Genetik Algoritma	48
4.6	Batasan parameter Genetik Algoritma.....	48
4.7	Grafik Fitness Genetik Algoritma.....	49
4.8	Hasil akhir Genetik Algoritma.....	49
4.9	Hasil uji program Fuzzy.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Macam dan jenis Bushing.....	10
2.2 Macam-macam sistem pendingin pada trafo.....	13
3.1 <i>Dielectric Strength</i> dari Minyak Untuk Tegangan Operasi.....	27
3.2 Batasan Pengusaha Minyak Transformator Sesuai Metoda ASTM.....	28
3.3 Beberapa Petunjuk untuk Melihat Minyak Trafo	29
3.4 Kelarutan gas-gas dalam minyak trafo	35
3.5 Jenis-jenis kemungkinan gangguan	36
3.6 Diagnosa gangguan transformatorDiagram sistem kromatografi	37
4.1 IEC/ IEEE codesfor the interpretatios or DGA data	39

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Salah satu gangguan pada transformator adalah timbulnya gas sebagai akibat kerusakan dari sistem isolasi, baik isolasi padat maupun isolasi cair (minyak).

Gas yang dihasilkan dari isolasi padat antara lain; gas karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂). Sedangkan gas yang berasal dari kerusakan isolasi cair antara lain; gas hidrogen (H₂), asetilen (C₂H₂), etilen (C₂H₄), metana (CH₄), etana (C₂H₆), dan propana (C₂H₆) yang merupakan gas mudah terbakar (combustible gases). Gas - gas tersebut jika dalam transformator melebihi batas daya larut minyak trafo akan menyebabkan gangguan pada transformator yang sedang beroperasi, seperti ditunjukkan dengan bekerjanya sistem Bucholz. Sebagian gas, terutama yang berasal dari kerusakan minyak isolasi pada dasarnya mempunyai sifat mudah terbakar.

Selama gas terlarut (dissolved gases), akan menurunkan kualitas dari minyak trafo. Padahal kualitas minyak memegang peranan sangat penting dalam kelangsungan operasi dari suatu transformator, dan umur transformator sangat tergantung kepada umur isolasinya.

1.2. Rumusan Masalah

Kerusakan sistem isolasi diakibatkan oleh 3 jenis kejadian dalam transformator yaitu :

1. Partial Discharge
2. Arching
3. Termal Degradation

Dari ketiga kejadian diatas maka akan dapat diketahui kandungan gas terlarut dalam minyak trafo untuk mendeteksi atau memperkirakan kondisi transformator yang sedang beroperasi.

1.3. Batasan Masalah

Karena banyaknya permasalahan yang terjadi didalam trafo maka penulis membatasi masalah pada:

1. Penurunan kualitas minyak trafo berdasarkan gas kimia , dengan cara pengambilan sampel, Ekstrasi gas dari minyak dan Analisa gas untuk evaluasi yang dilakukan dilaboratorium.
2. Mengembangkan metode Roger's Rasio dengan menggunakan metode Interpretasi Logika Fuzzy dan metode Genetik Algoritma.
3. Jenis minyaknya Diala B SAE 10 standart dari PLN.
4. Pengetesan dilakukan di laburatorium waru.

1.4. Tujuan

Adapun tujuan penulis membahas mengenai gangguan tranformator berdasarkan data analisa kimia gas dalam minyak trafo sebagai isolator adalah:

- a. Mengetahui kondisi dari minyak trafo, apakah masih dapat digunakan atau harus diganti.
- b. Dapat melakukan perawatan trafo dengan tepat.
- c. Melakukan perbandingan dengan metode sebelumnya.

1.5. Metode Pembahasan

Parameter yang digunakan untuk mengetahui(mengukur) tingkat kandungan gas yang terlarut dalam suatu minyak trafo yaitu:

1. Metode sistem sampling dan analisa gas

Sistem sampling dan analisa gas ini dilakukan berdasarkan metode ASTM D 3613.

Tahapan yang harus dilakukan untuk pengumpulan data:

- Pengambilan sampel minyak yang memenuhi syarat
- Ekstrasi gas pada minyak
- Analisa gas untuk evaluasi
- Interpretasi Gangguan dengan cara PLN

2. Metode interpretasi Logika Fuzzy dan metode Genetik Algoritma.

1.6. Kontribusi

Adapun kontribusi dari hasil penulisan skripsi ini adalah:

1. Untuk memperkenalkan metode analisis yang lebih praktis untuk menganalisa jenis gangguan yang terjadi didalam trafo kepada pembaca khususnya teknik listrik.
2. Penulis mengharapkan tulisan ini tidak hanya sebatas skripsi, tetapi mampu membantu PLN penyediaan listrik yang lebih handal kepada masyarakat.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions. It emphasizes that this is essential for the proper management of the organization's finances and for ensuring compliance with relevant laws and regulations.

2. The second part of the document outlines the various methods and procedures used to collect and analyze data. It describes how this information is used to identify trends, assess risks, and make informed decisions about the organization's future.

3. The third part of the document focuses on the implementation of internal controls and risk management strategies. It details the specific measures taken to prevent fraud, protect assets, and ensure the integrity of the organization's operations.

4. The fourth part of the document discusses the role of the audit committee and the external auditors. It explains how they work together to provide independent assurance on the organization's financial statements and to identify areas for improvement.

5. The fifth part of the document concludes by summarizing the key findings and recommendations. It highlights the areas where the organization has performed well and provides clear guidance on how to address any identified weaknesses or opportunities for growth.

1.7. Sistematika Penulisan

Dalam laporan skripsi ini penulis menyusun sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, tujuan penulisan skripsi, batasan masalah kontribusi, metode pembahasan dan sistematika penulisan laporan.

BAB II : TRANSFORMATOR DAN KONSTRUKSINYA

Berisikan mengenai pengertian transformator dan konstruksi-konstruksi bagian dari transformator.

BAB III : STANDART DAN DASAR MINYAK TRAF0

Berisikan pengertian, cara-cara pengetesan minyak , metode-metode yang digunakan dan standart-standart yang digunakan sebagai dasar minyak dikatakan dalam kondisi baik.

BAB IV : ANALISA KIMIA GAS MENGGUNAKAN INTERPRETASI LOGIKA FUZZY DAN GENETIK ALGORITMA

Berisikan analisa kimia gas menggunakan metode interpretasi logika fuzzy dan genetik algoritma , disini minyak yang diteliti adalah minyak trafo pada transformator distribusi 150/20kv, untuk menggabungkan metode fuzzy dan genetik algoritma dengan standart yang ada dan cara yang biasanya digunakan sehingga kita akan mengetahui kelebihan dari metode fuzzy dan genetik algoritma.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TRANSFORMATOR DAN KONTRUKSINYA

2.1. Pengertian Transformator

Transformator tenaga adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus-menerus tanpa berhenti). Mengingat kerja keras dari suatu transformator seperti itu maka cara pemeliharaan juga dituntut sebaik mungkin. Oleh karena itu transformator harus dipelihara dengan menggunakan sistem dan peralatan yang benar, baik dan tepat. Untuk itu regu pemeliharaan harus mengetahui bagian-bagian transformator serta bagian-bagian mana yang perlu dipelihara lebih teliti.

Berdasarkan tegangan operasinya dapat dibedakan menjadi transformator 500/150 kV dan 150/70 kV biasa disebut *Interbus Transformator (IBT)*. Transformator 150/20 kV dan 70/20 kV disebut juga trafo distribusi. Titik netral transformator ditanahkan sesuai dengan kebutuhan untuk sistem pengamanan / proteksi, sebagai contoh transformator 150/20 kV ditanahkan secara langsung disisi netral 150 kV dan transformator 70/20 kV ditanahkan dengan tahanan rendah atau langsung sisi netral 20 kV nya.

Transformator dapat dibagi menurut fungsi / pemakaian seperti:

- Transformator Mesin (Pembangkit)
- Transformator Gardu Induk
- Transformator Distribusi

Transformator dapat juga dibagi menurut kapasitas dan tegangan seperti:

- Transformator Besar
- Transformator Sedang
- Transformator Kecil

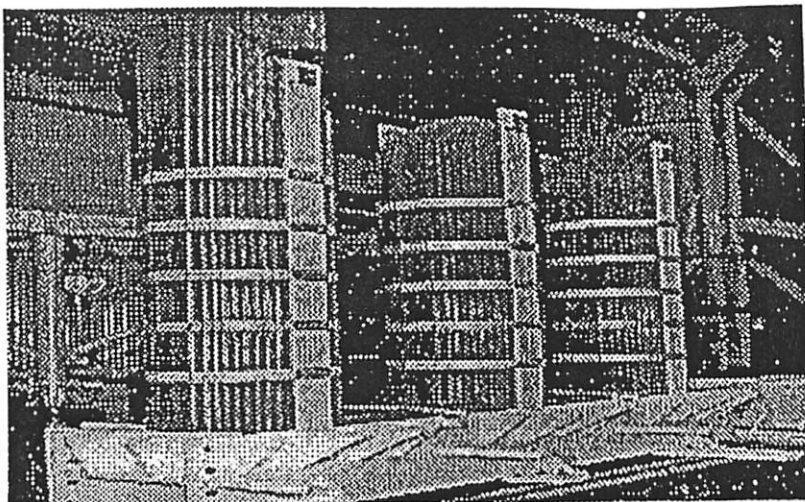
2.2. Konstruksi bagian-bagian transformator

2.2.1 Bagian Utama

2.2.1.1. Inti besi

Berfungsi untuk mempermudahnya jalan fluksi, yang ditimbulkan oleh arus melalui kumparan.

Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh arus edi.

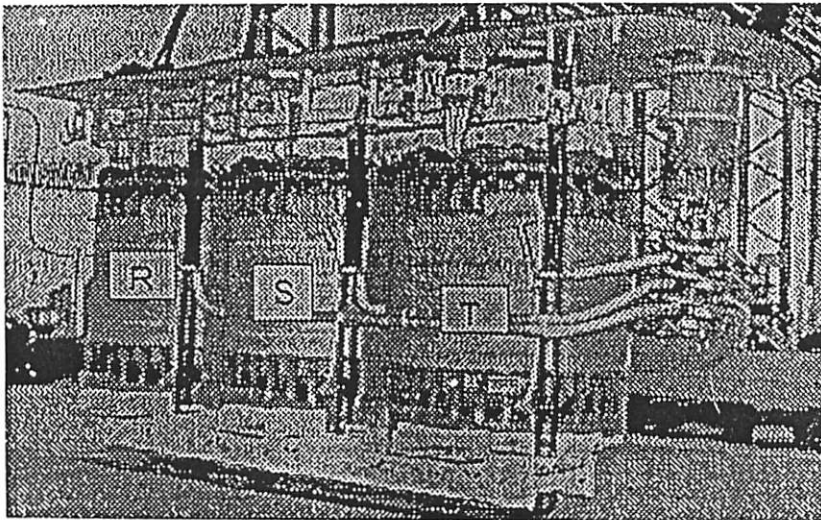


Gambar 2.1

Inti Besi Dan Laminasi yang Diikat Fiber Glass Dalam Transformer^[4]

2.2.1.2. Kumbaran Transformator

Adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumbaran. Kumbaran tersebut terdiri dari kumbaran primer dan kumbaran sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumbaran dengan isolasi padat seperti karton, pertinak, dan lain-lain. Kumbaran tersebut sebagai alat transportasi tegangan dan arus.



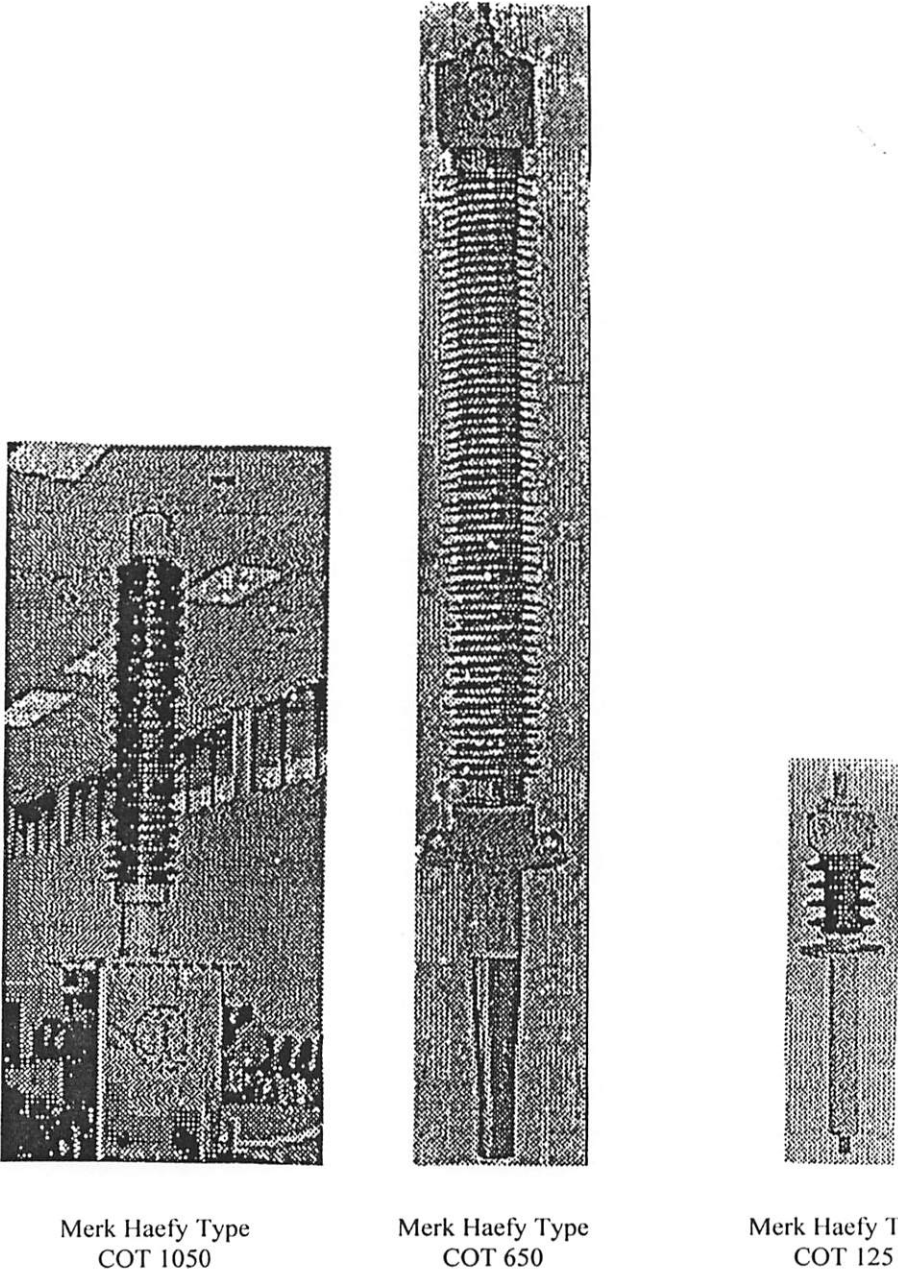
Gambar 2.2
Kumbaran Phasa RST^[4]

2.2.1.3. Minyak Transformator

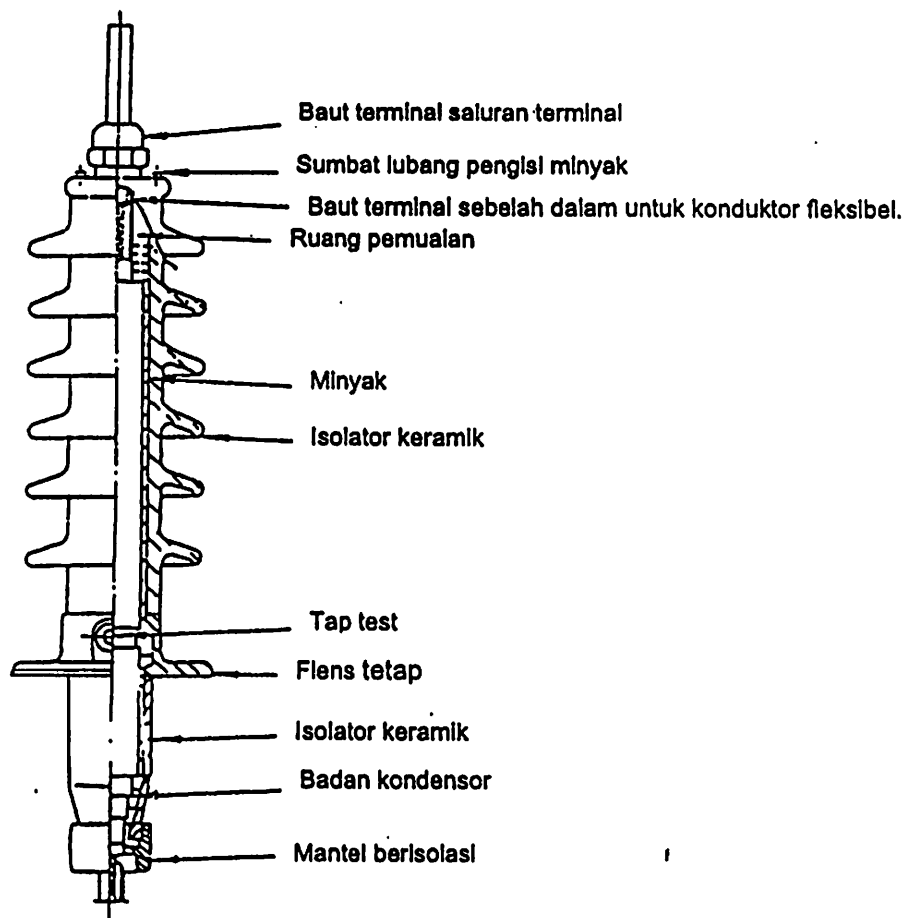
Sebagian besar kumbaran-kumbaran dan inti trafo tenaga direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai isolasi dan media pemindah, sehingga minyak trafo tersebut berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi.

2.2.1.4. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan luar melalui sebuah bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.



Gambar 2.3
Model Bushing Transformator^[4]



Gambar 2.4
 Konstruksi Bushing Transformator^[4]

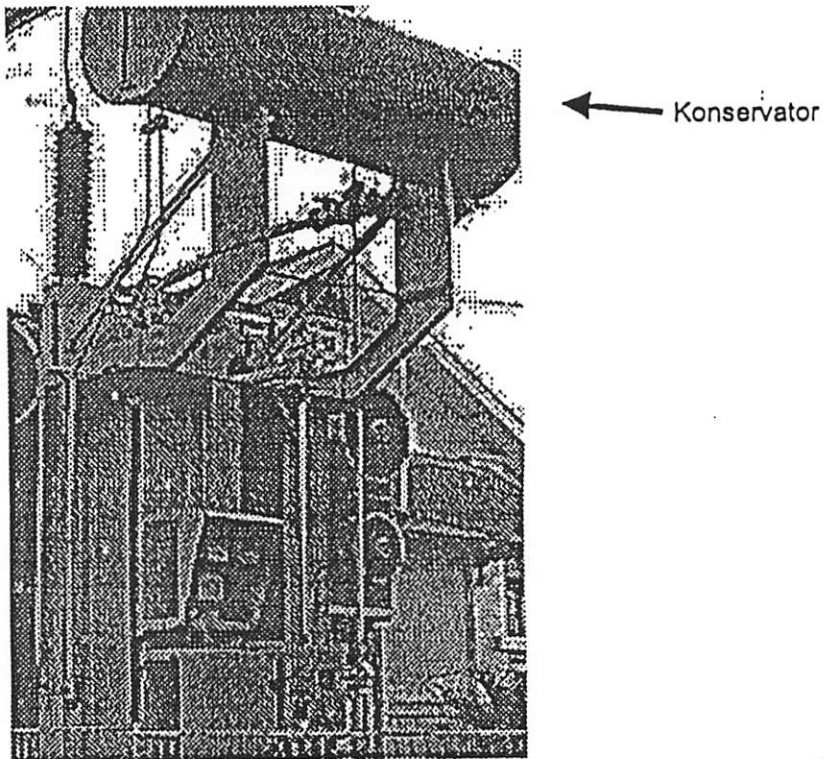
Tabel kelengkapan fasilitas tap test dan venting

Tabel 2.1
Macam dan jenis Bushing^[4]

Spesifikasi Teknik	Fasilitas Venting Bushing				Fasilitas Tap Test Pada Bagian Bawah
	Bagian Bawah		Bagian Atas		
	Oil Main tank	Oil Bushing	Oil Main tank	Pengisian Oil Bushing	
Merk : Haefely Trench Type: COT 650 – 800 Un : 170 kV In : 800 A, 600–275Kv	ADA	ADA	ADA	ADA	ADA
Merk : Haefely St. Louis France Type : 18 6326 Un : 150/275 kV In : 800 kV	ADA	TIDAK ADA	ADA	ADA	ADA
Merk : ASEAN SWEDEN Type : GOB - 650 Un : 145 kV In : 1250 A	TIDAK ADA	TIDAK ADA	ADA	ADA	ADA

2.2.1.5. Tangki Konservator

Pada umumnya bagian-bagian dari trafo yang terendam minyak trafo berada (ditempatkan) dalam tangki. Untuk menampung pemuaian minyak trafo, tangki dilengkapi dengan konservator.



Gambar 2.5
Konservator Trafo^[4]

2.2.2. Peralatan Bantu

2.2.2.1 Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi besi dan rugi-rugi tembaga. Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi (didalam transformator).

Maka untuk mengurangi kenaikan suhu transformator yang berlebihan maka perlu dilengkapi dengan alat/sistem pendingin untuk menyalurkan panas keluar transformator.

Media yang dipakai dalam sistem pendingin dapat berupa :

1. Udara.
2. Minyak.
3. Air.
4. Dan lain sebagainya.

Sedangkan pengaliran (sirkulasi) dapat dengan cara:

1. Alamiah (natural)
2. Tekanan / paksaan

Pada cara alamiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (*Radiator*).

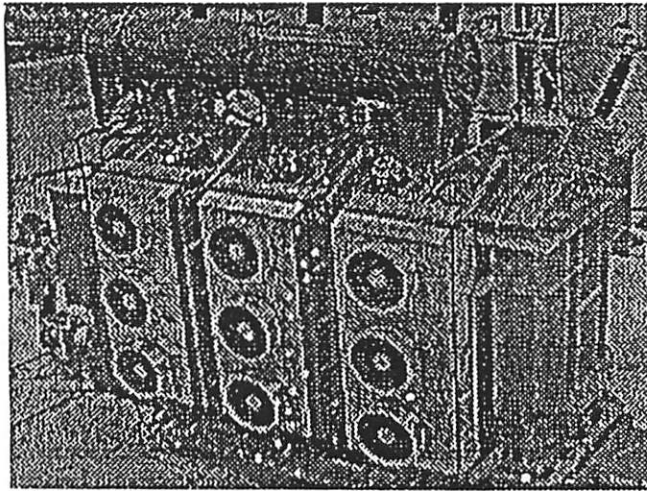
Bila diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural / alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut pendingin paksa (*Force*).

Macam-macam sistem pendingin transformator berdasarkan media dan cara pengalirannya dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 2. 2
Macam-macam sistem pendingin pada trafo^[4]

No	MACAM SISTIM PENDINGIN *)	MEDIA			
		DIDALAM TRAFO		DILUAR TRAFO	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4.	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

* Menurut IEC tahun 1976



Gambar 2.6
Susunan Motor Blower Sebagai
Alat Pendingin Minyak Transformator
Dengan Udara Paksa^[4]

2.2.2.2 Perubahan Tap (*Tap Changer*)

Tap Changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan / primer yang berubah-ubah. Tap changer yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban disebut "*Off Load Tap Changer*" dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis.

Untuk memenuhi kualitas tegangan pelayanan sesuai kebutuhan konsumen (PLN Distribusi), tegangan keluar (sekunder) transformator harus dapat dirubah sesuai keinginan. Untuk memenuhi hal tersebut, maka pada salah satu atau pada kedua sisi belitan transformator dibuat tap (panyadap) untuk merubah perbandingan transformasi (*rasio trafo*).

Ada dua cara kerja *tap changer*

1. Mengubah tap dalam keadaan trafo tanpa beban.
2. Mengubah tap dalam keadaan trafo berbeban (*On Load Tap Changer / OLTC*).

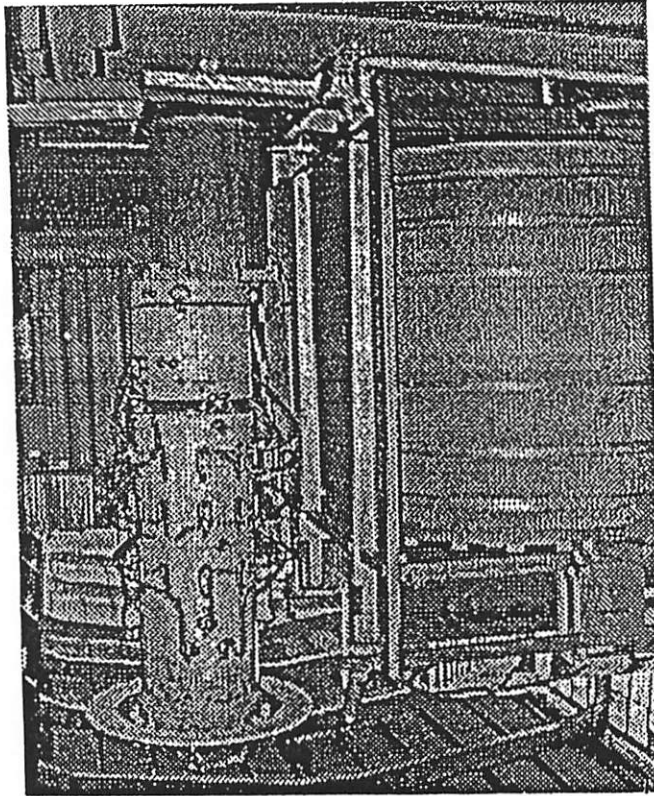
Transformator yang terpasang di gardu induk pada umumnya menggunakan tap changer yang dapat dioperasikan dalam keadaan trafo berbeban dan dipasang disisi primer. Sedangkan transformator penaik tegangan di pembangkit atau trafo kapasitas kecil, umumnya menggunakan *tap changer* yang dioperasikan hanya pada saat trafo tenaga tanpa beban.

OLTC terdiri dari :

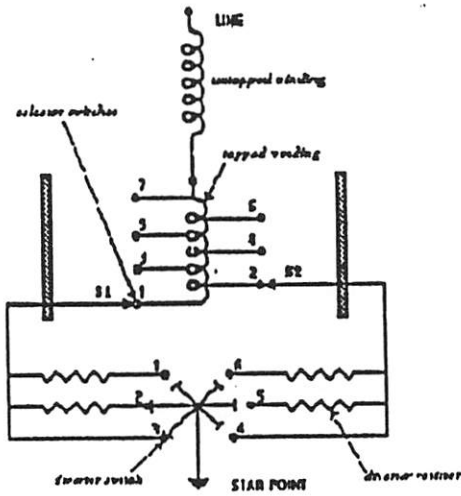
1. *Selector Switch*,
2. *Diverter Switch*, dan
3. *Transisi Resistor*.

Untuk mengisolasi dari bodi trafo (tanah) dan meredam panas pada saat proses perpindahan tap, maka OLTC direndam di dalam minyak isolasi yang biasanya terpisah dengan minyak isolasi utama trafo (ada beberapa trafo yang *compartemennya* menjadi satu dengan *main tank*).

Karena pada proses perpindahan hubungan tap di dalam minyak terjadi fenomena listrik, mekanis kimia dan panas, maka minyak isolasi OLTC kualitasnya akan cepat menurun. Tergantung dari jumlah kerjanya dan adanya kelainan di dalam OLTC.



Gambar 2.7
Perubahan Tap Tegangan Tinggi (OLTC)^[4]



Gambar 2.8
Rangkaian Skema Perubahan Tap^[4]

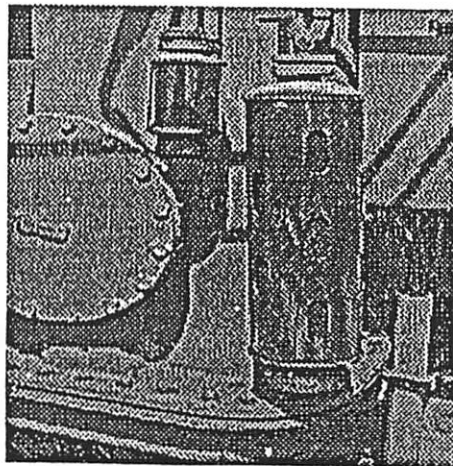
2.2.2.3 Alat pernafasan

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara diluar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut.

Bila suhu minyak tinggi, minyak memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki.

Kedua proses diatas disebut pernafasan transformator.

Akibat pernafasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan, berupa tabung berisi kristal zat *hygroskopis*.



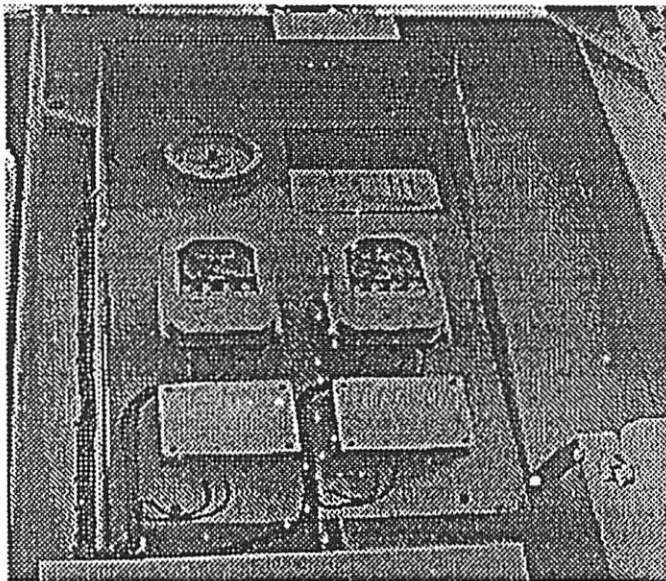
Gambar 2.9

Tabung berisi kristal zat *Hygroskopis*^[4]

2.2.2.4 Indikator

Untuk mengawasi selama transformator beroperasi, maka perlu adanya indikator pada transformator sebagai berikut:

- Indikator suhu minyak.
- Indikator permukaan minyak.
- Indikator sistem pendingin.
- Indikator kedudukan tap.



Gambar 2.10

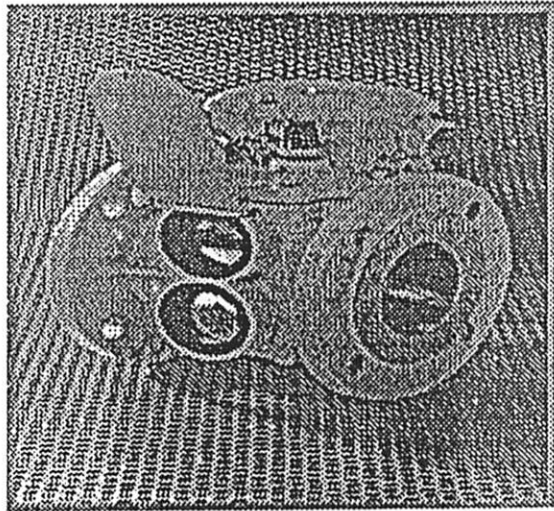
Alat Pengukur Suhu dan Indikator Permukaan Minyak^[4]

2.2.3 Peralatan Poteksi

2.2.3.1. Rele *Bucholz*

Rele *Bucholz* adalah alat/rele untuk mendeteksi dan mengamankan terhadap gangguan didalam transformator yang menimbulkan gas. Gas yang timbul diakibatkan oleh karena:

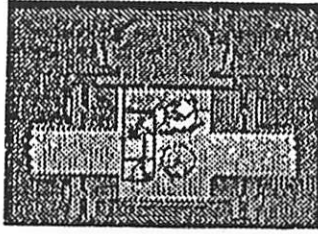
1. Hubung singkat antar lilitan / dalam phasa
2. Hubung singkat antar phasa
3. Hubung singkat antar phasa ke tanah
4. Busur api listrik antar laminasi
5. Busur api listrik karena kontak yang kurang baik



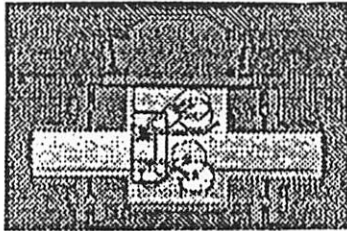
Gambar 2.11
Rele *Bucholz*^[4]

2.2.3.2. Pengaman tekanan lebih (*Explosive Membrane*) / *Bursting Plate*)

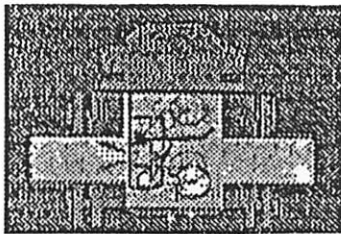
Alat ini berupa lembaran yang dibuat dari kaca, plastik, tembaga atau katup berpegas, berfungsi sebagai pengaman tangki transformator terhadap kenaikan tekanan gas yang timbul di dalam tangki (yang akan pecah pada tekanan tertentu) dan kekuatannya lebih rendah dari tangki transformator.



Gambar 2.12
Rele Bucholz Saat Bekerja
Akibat Minyak Kurang Dalam Transformer^[4]



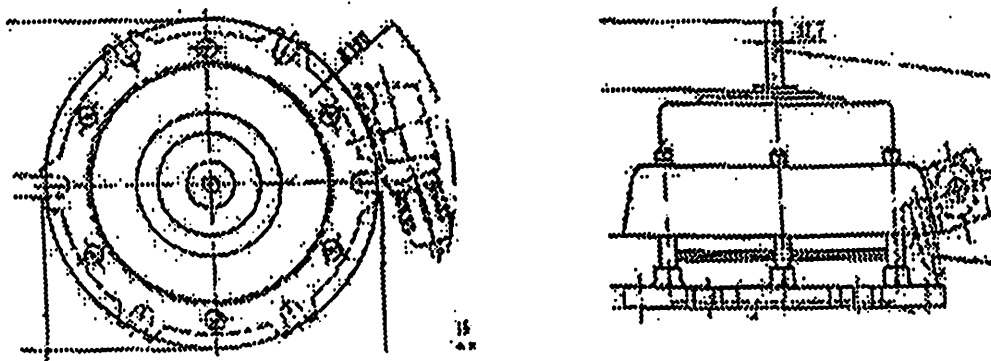
Gambar 2.13
Rele Bucholz Saat Bekerja Akibat Akumulasi Gas
yang Timbul Dalam Transformer^[4]



Gambar 2.14
Rele Bucholz Saat Bekerja Akibat Flow minyak
Karena Gangguan Dalam Transformer^[4]

2.2.3.3 Rele Tekanan Lebih (*Sudden Pressure Relay*)

Rele ini berfungsi hampir sama seperti rele *buchholz*, yakni pengamanan terhadap gangguan di dalam transformator. Bedanya rele ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung menjatuhkan PMT



Gambar 2.15
Pengaman Tekanan Lebih^[4]

2.2.4. Peralatan Tambahan untuk Pengaman Transformator

2.2.4.1. Pemadam Kebakaran

Trafo tenaga adalah salah satu peralatan yang sangat mahal yang terpasang pada pusat pembangkit dan Gardu Induk.

Setiap trafo tenaga terisi dengan material yang mudah terbakar dengan jumlah yang cukup besar yang mana bila tersulut dapat menyalakan api ke instalasi yang berdekatan. Oleh karena itu sangat perlu dilengkapi dengan peralatan pengamannya.

Kegagalan-kegagalan trafo tenaga umumnya disebabkan oleh *Break Down* isolasi pada bagian internal Trafo. Adanya energi busur listrik akan diikuti kenaikan temperatur dan tekanan yang sangat cepat didalam tangki Trafo.

Terbakarnya minyak pada jumlah tertentu dapat mengakibatkan tekanan yang sangat tinggi kearah luar melalui kisaran bidang tertentu dan dapat langsung diikuti nyala api.

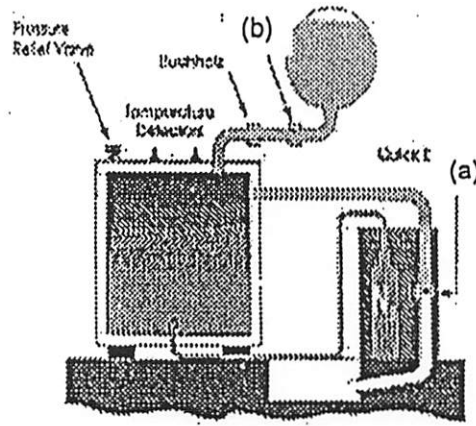
Salah satu peralatan proteksi yang dapat mencegah api dan ledakan yang merusak trafo adalah "SERGI" yang metode pengamannya disebut sebagai pengaman trafo dari ledakan dan kebakaran.

Agar sistem proteksi ini dapat aktif harus ada dua sinyal yang muncul yaitu:

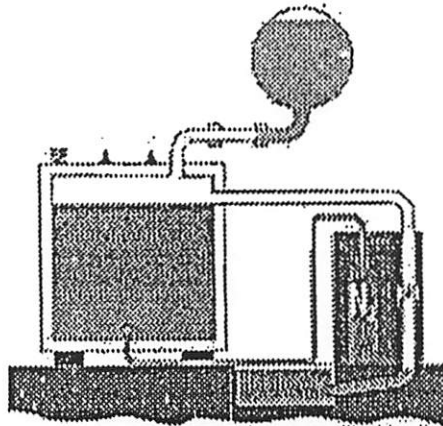
1. Sinyal PMT trip yang bersumber dari peralatan pengaman tekanan lebih.
2. Sinyal temperatur tinggi dari temperatur detector dan beroperasinya rele bucholz.

Pada gambar dua katup drain pengaman ledakan akan cepat terbuka untuk membebaskan tekanan internal agar trafo tidak meledak.

Tangki konservator akan terisolasi dengan bekerjanya *Shutter* sehingga minyak yang dikeluarkan hanya $\pm \geq 20$ cm dibawah tutup atas tangki utama trafo.



Gambar 2.16
Bekerjanya pengaman ledakan^[4]

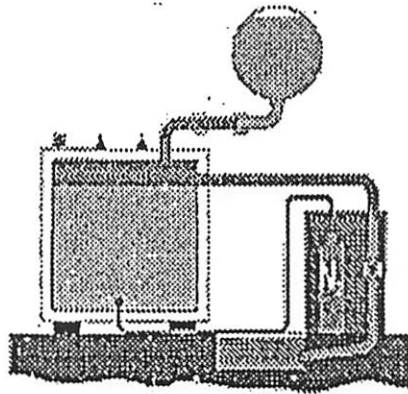


Gambar 2.17
Bekerjanya *Shutter*^[4]

Pemadam api: selang waktu ± 3 detik sejak minyak didrain, gas Nitrogen diinjeksikan kedalam main tank trafo.

Gas ini akan melingkupi bagian atas permukaan minyak trafo dan dengan cepat menurunkan temperatur minyak sampai mencapai dibawah temperatur titik nyalanya sehingga dengan sendirinya api akan padam.

Nitrogen diinjeksikan terus menerus selama 45 menit sehingga trafo akan dingin dan tercegah dari kemungkinan nyalanya api kembali



Gambar 2.18
Jalan Kerja Pemadam Api^[4]

2.2.4.2. Rele *Differensial*

Berfungsi mengamankan transformator dari gangguan didalam transformator antara lain, *Flash Over* antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki atau belitan dengan belitan didalam kumparan ataupun beda kumparan.

2.2.4.3. Rele arus lebih (*Over current Relay*)

Berfungsi mengamankan transformator dari arus yang melebihi dari arus yang telah diperkenankan lewat dari transformator tersebut dan arus lebih ini dapat terjadi oleh karena beban lebih atau gangguan hubungan singkat.

2.2.4.4. Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)

Berfungsi untuk mengamankan transformator bila terjadi gangguan satu phasa ke tanah.

2.2.4.5. Rele tangki tanah

Berfungsi untuk mengamankan transformator bila ada hubung singkat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan pada transformator.

2.2.4.6. Rele *Termis*

Berfungsi untuk mencegah atau mengamankan transformator dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang ditimbulkan akibat arus lebih. Besarnya yang diukur dalam rele ini adalah kenaikan temperatur.

BAB III
STANDART DAN DASAR
MINYAK TRAFO

Dalam transformator, minyak trafo adalah salah satu bagian yang sangat penting dan serta mendapat perhatian yang cukup teliti, selain itu perawatan minyak trafo harus seksama, mengingat fungsi dari minyak adalah:

1. **Insulator** yaitu mengionisasi kumparan didalam trafo supaya tidak terjadi loncatan bunga api listrik (hubungan pendek) akibat tegangan tinggi.
2. **Pendingin** yaitu mengambil panas yang ditimbulkan sewaktu trafo berbeban lalu melepaskannya.
3. **Melindungi** komponen-komponen di dalam trafo terhadap korosi dan oksidasi.

Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Kekuatan isolasi harus tinggi, sesuai IEC 296 minyak trafo harus Class 1 dan 2 yaitu untuk minyak baru dan belum difilter $> 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$ dan setelah difilter yaitu $> 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.
- Penyalur panas yang baik, berat jenis kecil, sehingga partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendingin menjadi lebih baik. Pada IEC 296 Viskositas minyak class 1 saat suhu 40°C adalah $< 16,5 \text{ cSt}$.

- Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Sesuai IEC 296 Flash point minyak trafo diatas 163° C dan Pour point adalah dibawah $- 30^{\circ}$ C.
- Tidak merusak bahan isolasi padat.

Spesifikasi dan metode pengetesan minyak yang digunakan untuk minyak isolasi trasformer adalah menggunakan standar IEC Publ 296 “*Spesification faor unuse mineral insulating oil for trasformer and switchgear*”.

Jika isolasi minyak isolasi trasformer didatangkan dengan tangki tersendiri, besar *moisture* yang terdapat dalam minyak tidak boleh lebih besar dari 10 ppm dan dalam masa pengangkutan minyak tidak boleh terkontaminasi oleh udara. Maka sebelum minyak dipompakan kedalam tangki trasformer perlu dilakukan penyaringan dan pemurnian (*Treatment*).

Tabel 3.1

Dielectric Strength dari Minyak Untuk Tegangan Operasi^[4]

Tegangan tembus minyak transformer		
Tegangan operasi (kV)	Untuk minyak baru	Untuk minyak sudah dipakai
	IEC 156 KV/2,5 mm	IEC 156 KV/2,5 mm
> 170	> 50	> 50
70 – 170	> 50	> 40
< 70	> 50	> 30

Tabel 3.2
 Batasan Pengusaha Minyak Transformator
 Sesuai Metoda ASTM^[4]

Jenis test	ASTM no	Batasan Tegangan		
		≤ 69	> 69 < 288 kV	≥ 345 kV
<i>Dielectric Str</i>	D 877	26	26	26
Asam (mg. KOH/g)	D 974	0,05 – 0,2	0,05 – 0,2	0,05 – 0,2
IFT (dynes/cm)	D 971	30	30	35
Kandungan air (ppm)	D 1533	35	20	15
Kandungan gas (%)	D 2945	2	2	2
Warna	D 1500	1,5	1,5	1,5
Kejernihan	D 1524	Jernih	Jernih	Jernih
<i>Flash point</i> °C	D 92	140	140	140
<i>Pour point</i>	D 97	-40	-40	-40
<i>Power factor</i>	D 1533	< 30	30 – 34,9	> 35
Berat jenis	D 1298	0,91	0,91	0,91
<i>Viscositas</i>	D 445	12	12	12

Tabel 3.3

Beberapa Petunjuk untuk Melihat Minyak Trafo¹⁴⁾

Warna dan kelompok	Angka asam	Kekuatan kertas (IFT) dynes/cm	Akibat pada transformer
Bagus Kuning pucat # 0,5	0,03 0,10	45 30	Menggambarkan bahwa: Pendingin bagus isolasi bagus
Contoh A Kuning muda # 10	0,05 0,10	27 29	Terjadi endapan (<i>sluge</i>) yang membaaur diminyak yang akan menyebabkan IFT menurun
Umum Kuning terang # 2,5	0,11 0,15	24 27	Terjadi endapan asam tipis pada lilitan, <i>sluge</i> . Hal ini akan menjadi penyebab gangguan. Agar dihindari kandungan <i>sluge</i> yang menebal
Jelek Kuning sawo # 2,5	0,16 0,40	18 24	Hampir semua trafo pada keadaan ini terdapat endapan <i>sluge</i> pada lilitan dan inti
Amat jelek Kuning sawo # 3,0 – 5,0	0,41 1,65	14 18	Endapan <i>sluge</i> akan beroksida kemudian mengeras dan terjadi juga diisolasi (kertas) mudah terjadi kerusakan
Sangat jelek Coklat kehitaman # 5,0 – 7,0	0,66 1,50	9 14	<i>Sluge</i> menyumbat sirip-sirip pendingin yang menyebabkan kenaikan temperatur sampai 20 °C
Minyak kelas (<i>crude oil</i>) hitam # 7,0 – 8,0	1,5 dan lebih	6 9	Diperlukan suatu cara untuk menghilangkan <i>sluge</i> (yang lebih bagus dari " <i>Sluge Purge</i> "). Pada kondisi ini transformator harus <i>dioverhaul</i> (tidak ada gunanya hanya dengan mengganti minyak trafo).

3.1 Sistem Sampling Dan Analisa Gas

Gas terlarut dalam minyak trafo akan digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem isolasi pada transformator yang sedang beroperasi. Sistem sampling dan analisa gas ini dilakukan berdasarkan metode ASTM D 3613

Tahapan yang harus dilakukan untuk pengumpulan data analisa gas terlarut dalam minyak trafo adalah sebagai berikut:

- Pengambilan sampel minyak yang memenuhi syarat
- Ekstrasi gas pada minyak
- Analisa gas untuk evaluasi

3.1.1 Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel minyak harus dilakukan dalam waktu kurang dari lima menit dan menggunakan wadah yang memenuhi syarat, hal ini dimaksudkan untuk menghindari kontaminasi. Selain kondisi tersebut, hal-hal berikut harus diperhatikan:

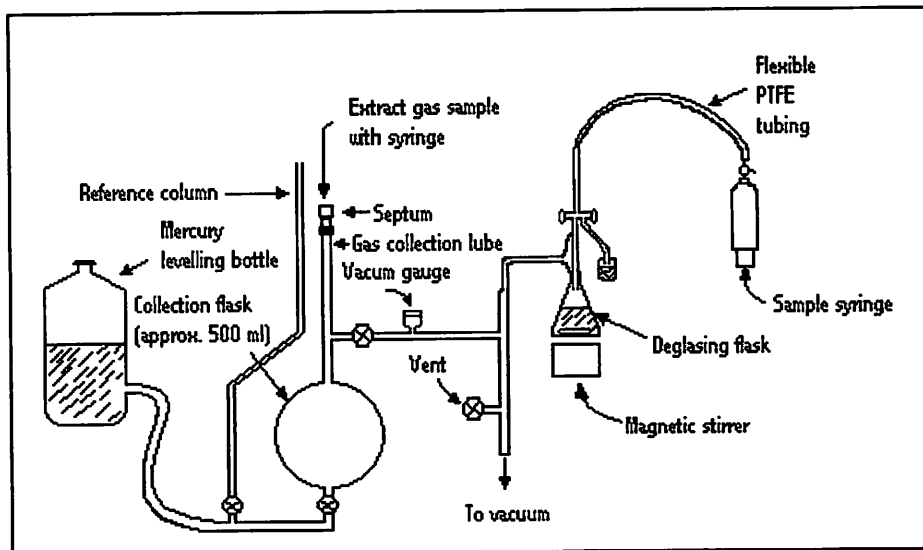
- a. Mengembalikan satuan (jumlah) sampel yang diambil pada kondisi tekanan dan temperatur normal (760 mmhg dan 25 °C).
- b. Menghindarkan gelembung udara dan membilas wadah dengan sampel
- c. Membawa sampai ke laboratorium harus secepat mungkin untuk menghindari hilangnya gas terlarut.

3.1.2 Ekstraksi gas pada minyak

Sampel minyak yang mengandung gas terlarut diambil untuk pemeriksaan laboratorium, selanjutnya dilakukan ekstraksi atau pemisahan gas dari minyak dengan beberapa cara sampling vacuum (gambar 3.1).

Dasar ekstraksi gas digunakan beberapa tahapan sebagai berikut:

- Menginjeksikan sampel ke dalam sistem alat ekstraktor dan tanpa ada bagian gelembung udara dengan cara diisi sampel minyak.
- Mendidihkan dan mengaduk sampel minyak, sehingga gas akan dibebaskan dalam kondisi vakum (1×10^{-3} torr atau lebih kecil).
- Mengumpulkan gas pada tabung pengumpul dan tekanan dikembalikan kepada keadaan normal.
- Mengukur volume gas yang terekstraksi dan menghitung (persentase) gas dari sampel minyak yang terkoreksi serta gas siap untuk ditentukan jenis dan jumlahnya dengan alat gas-kromatograf.



Gambar 3.1

Untuk Ekstraksi Gas dari Minyak Isolasi^[4]

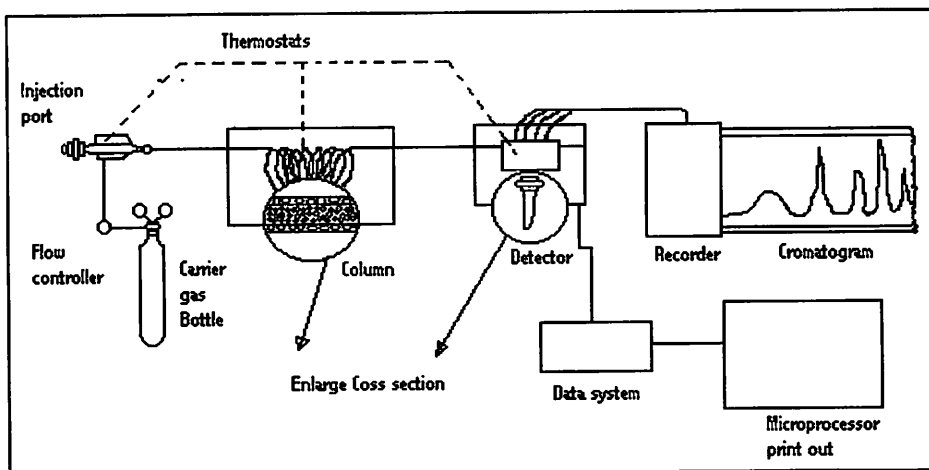
3.1.3 Analisa Gas Untuk Evaluasi

Sampel gas yang telah dipisahkan dari minyak trafo dilakukan analisis terhadap komposisi gas baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Alat yang digunakan untuk menentukan komposisi gas adalah kromatografi gas. Dasar kerja dari alat kromatografi gas adalah berdasarkan sifat penyerapan sistem kolom kromatografi gas terhadap sampel gas. Sampel gas (campuran gas) yang diinjeksikan kedalam alat, dialirkan oleh gas pembawa sehingga gas yang mempunyai perbedaan sifat penyerapan akan terpisah.

Pemisahan gas-gas tersebut, masing-masing akan dideteksi oleh suatu detektor yang akan dikonversikan kepada sistem pencatatan atau integrator. Jenis dan jumlah gas yang diinjeksikan dapat diketahui dengan jalan membandingkan/melakukan hal yang sama terhadap gas standar yang telah diketahui komposisinya.

Diagram alat untuk analisa gas dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3.2

Diagram Sistem Kromatografi Gas^[4]

3.2 Interpretasi Gangguan

Interpretasi data dapat dilihat dari dua kategori, yaitu berdasarkan jumlah gas yang mudah terbakar (total combustible gases) dan komposisi gas (gas kunci) yang terkandung.

3.2.1 *Total Combustible Gases*

Gas yang mudah terbakar adalah hidrogen, karbonmonoksida, metana, etana, asetilen, dan etilen. Jumlah konsentrasi (ppm V/V) dari masing-masing gas tersebut diatas merupakan kandungan total combustible gases (TCG). Dari data total combustible gases ini akan dapat diketahui kondisi transformator sesuai batasan dibawah ini.

- 0 – 500 ppm : Indikasi normal
- 501 – 1500 ppm : Indikasi adanya sedikit kekomposisi dari sistem isolasi dan harus dilakukan suatu tindakan terhadap gangguan yang baru terjadi agar tidak berkelanjutan.
- 1501 – 2500 ppm : Indikasi terjadi dekomposisi tingkat tinggi dari sistem isolasi berarti ada gangguan, dan harus segera dilakukan tindakan agar tidak menjadi lebih buruk lagi.
- > 2500 ppm : Indikasi bayak terjadi dekomposisi dari sistem isolasi yang menyeluruh dan akan menjadikan suatu gangguan. Laju pembentukan gas dan penyebabnya harus disentifikasi dan diambil tindakan perbaikan.

3.2.2. Komposisi gas

Ada lima jenis gas yang utama hasil dekomposisi minyak, yaitu : *hidrogen, metana, etana, etilen dan asetilen* sebagai akibat beberapa gangguan yang terjadi. Beberapa analisa data yang telah dikembangkan dan dipakai untuk menginterpretasi gangguan transformator adalah metode *gas kunci*.

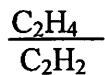
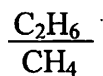
Metode ini digunakan untuk menentukan jenis gangguan yang terjadi dan dikembangkan oleh Dornenburg dan Roger's serta dikenal dengan "metode rasio". Keuntungan "metode rasio" ini adalah dapat secara kuantitatif, tidak tergantung pada volume minyak dan dapat dikembangkan secara komputerisasi. Sedangkan kerugiannya adalah tidak dapat langsung diperoleh dari lapangan (harus analisa laboratorium) "metode rasio" Dornenburg dan Rogers ditemukan dari data gas pada jenis transformator berconsevator dengan tangki yang berhubungan atmosfer. Menurut pengalaman transformator dengan jenis ini menyebabkan gas mudah larut secara perlahan dan hilang. Selanjutnya Oommen menentukan faktor koreksi metode ini yang berdasarkan pada kelarutan gas dalam minyak. Faktor koreksi biasanya hanya penting untuk hilangnya gas yang mudah larut, yaitu rasio CH_4/H_2 . Dornenburg mengembangkan rasio untuk gas-gas terlarut dalam minyak dan gas bebas dalam Bucholz dengan hubungan antara keduanya yang didasarkan pada kelarutan setiap gas dalam minyak seperti tabel berikut:

Tabel 3.4
 Kelarutan gas-gas dalam minyak trafo^[4]
 (Tekanan 760 mmHg dan temperatur 25⁰C)

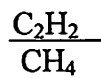
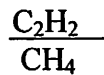
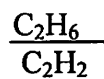
No.	Jenis gas	Senyawa	Kelarutan
1	Hidrogen	H ₂	7,0
2	Nitrogen	N ₂	8,6
3	Karbonmonoksida	CO	9,0
4	Oksigen	O ₂	16,0
5	Metana	CH ₄	30,0
6	Karbondioksida	CO ₂	120,0
7	Etana	C ₂ H ₆	280,0
8	Etilen	C ₂ H ₄	280,0
9	Asetin	C ₂ H ₂	400,0

Rasio gas yang dikemukakan oleh Domenburg dan Roger's digambarkan sebagai berikut:

Rasio Roger's



Rasio Domenburg



Interpretasi gangguan pada transformator berdasarkan data gas yang terdeteksi dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.5
 Jenis-jenis kemungkinan gangguan^[4]

Gas-gas terdeteksi	Interpretasi
Nitrogen ± 5% oksigen	<i>Normal operation of sealed transformer</i>
Nitrogen plus > 5% oksigen	<i>Check of tightness of sealed transformer</i>
Nitrogen, karbondioksida, atau karbonmonoksida atau keduanya	<i>Transformer overloaded or operating hot, causing some cellulose breakdown. Check operating condition</i>
Nitrogen dan Hidrogen	<i>Corona discharge, electrolysis of water, or rusting</i>
Nitrogen, hidrogen, karbondioksida dan karbonmonoksida	<i>Corona discharge involving cellulose or severe overloading of transformer</i>
Nitrogen, hidrogen, metana dengan sejumlah kecil etena dan etilen	<i>Sparking or other minor fault some break down of oil</i>
Nitrogen, hidrogen, metana dengan karbondioksida, dan sejumlah kecil hidrokarbon lain, serta asetilen biasanya tidak ada	<i>Sparking or other minor fault some break down of oil</i>
Nitrogen dengan hidrogen yang besar dan hidrokarbon lain termasuk asetilen	<i>High energy arc causing rapid deterioration of oil</i>
Nitrogen dengan hidrogen yang besar, etilen, metana dan sedikit asetilen	<i>High temperature arcing of but in a confined area, poor connections or turn-to-turn shorts are examples</i>
Sama seperti diatas kecuali adanya karbondioksida dan karbonmonoksida	<i>Same as above except arcing in combination with cellulose</i>

Sedangkan jenis diagnosa gangguan transformator berdasarkan metode rasio dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.6
 Diagnosa gangguan transformator^[4]
 Diagram sistem kromatografi

Nilai Rasio				Diagnosa
$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	
> 0,1 < 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5	<i>Normal</i>
≤ 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5	<i>Partial discharge-corona</i>
≤ 1,0	< 1,0	< 1,0	≥ 0,5 atau ≥ 3,0 dan < 3,0	<i>Partial discharge-corona with tracking</i>
> 0,1 < 1,0	< 1,0	≥ 3,0	≥ 3,0	<i>Continuous discharge</i>
> 0,1 < 1,0	< 1,0	≥ 1,0 atau ≥ 3,0 dan < 3,0	≥ 0,5 ≥ 3,0 < 3,0	<i>Arc-with power follow through</i>
> 0,1 < 1,0	< 1,0	< 1,0	≥ 0,5 < 3,0	<i>Arc-no power follow through</i>
≥ 1,0 atau ≥ 3,0 dan < 3,0	< 1,0	< 1,0	< 0,5	<i>Slight overheating to 150 °C</i>
≥ 1,0 atau ≥ 3,0 dan < 3,0	≥ 1,0	< 1,0	< 0,5	<i>Overheating 150 °C – 200 °C</i>
> 0,1 < 1,0	≥ 1,0	< 1,0	< 0,5	<i>Overheating 200 °C – 300 °C</i>
> 0,1 < 1,0	> 1,0	≥ 1,0 < 3,0	< 0,5	<i>General conductor overheating</i>
≥ 1,0 < 3,0	< 1,0	≥ 1,0 < 3,0	< 0,5	<i>Circulating currents in windings</i>
≥ 1,0 < 3,0	< 1,0	≥ 3,0	< 0,5	<i>Circulating currents core and tank; overload joints</i>

BAB IV

ANALISA DATA

Selama trafo bekerja dalam keadaan normal biasanya kualitas minyak turun secara perlahan oleh gangguan - gangguan yang terjadi didalam trafo, dan akan menghasilkan beberapa gas yang larut dalam minyak. Tetapi ketika sebuah kesalahan terjadi didalam trafo, kwalitas dari minyak mulai menurun dan temperatur akan naik, sehingga menghasilkan bermacam-macam gas dengan cepat.

Perbedaan jenis gas yang dihasilkan dikarenakan oleh perbedaan intensitas energi dan tipe kesalahan. Metode Diagnosa analisis dalam skripsi ini dengan cara membawa minyak trafo yang sudah terpakai untuk dibawa ke laboratorium, kemudian dianalisis dengan ekstrasi gas untuk mendeteksi dan memisahkan kandungan gas dari minyak. Dilanjutkan dengan Kromatografi, yaitu untuk mengekstrak gas yang kemudian diinterpretasikan menjadi *Hydrogen* (H_2), *Methane* (CH_4), *Ethane* (C_2H_4), *Ethylene* (C_2H_6), *Acetylene* (C_2H_2), *Carbon monoxide* (CO), *Carbon dioxide* (CO_2).

Tabel 4.1

IEC/IEEE CODES FOR THE INTERPRETATION OF DGA DATA

Fault code	Fault type	Ratio of characteristic gases		
		C_2H_2/C_2H_4	CH_4/H_2	$C_2H_4/C_2/H_6$
NF	No fault	0.1	0.1-1.0	0.1
LT ⁻	150 ⁰ C thermal fault	0.1	0.1-1.0	1.0-3.0
LT ⁺	150 ⁰ C-300 ⁰ C thermal fault	0.1	1.0	1.0
MT	300 ⁰ C-700 ⁰ C thermal fault	0.1	1.0	1.0-3.0
HT	700 ⁰ C thermal fault	0.1	1.0	3.0
LP	Low energy partial discharges	0.1	0.1	1.0
HP	High energy partial discharges	0.1-3.0	0.1	1.0
LD	Low energy discharges	0.1-3.0 to 3.0	0.1-1.0	1.0-3.0 to 3.0
HD	High energy discharges	0.1-3.0	0.1-1.0	3.0

4.1 Hukum Fuzzy

Menurut kriteria diagnosa yang ada, seperti gas utama, metode rasio Rogers, atau metode IEC /IEEE, digunakan sebagai fungsi keanggotaan yang menjelaskan kandungan-kandungan gas. Sebagai hasilnya, ilmu pengetahuan tentang teknik DGA dapat diintegrasikan dalam kemajuan sistem diagnosa. Berdasar fungsi keanggotaan sementara dan hasil diagnosa yang aktual, keberhasilan hukum algoritma fuzzy digunakan untuk mengindikasikan tipe kerusakan yang sesuai, berikut cara untuk mendiagnosa data:

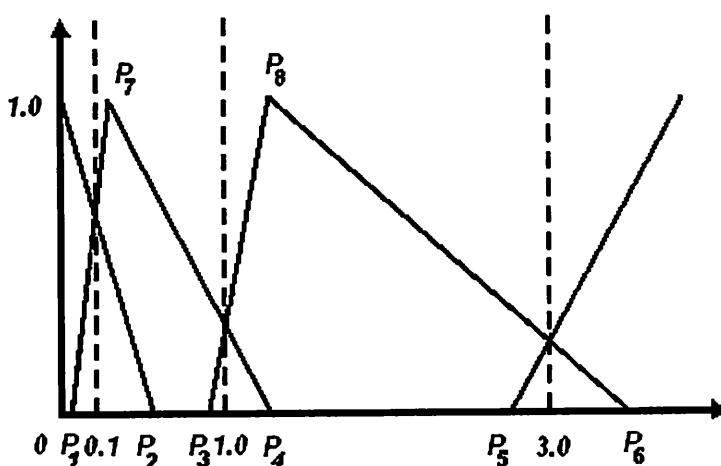
➤ **Langkah 1:**

Penyusunan data – data dasar rekaman diagnosa trafo, termasuk isi kandungan gas, hasil diagnosa, dan waktu dalam melakukan tes ulang trafo yang diusulkan dan kurun waktu setelah penelitian.

➤ **Langkah 2 :**

Menurut perlengkapan (gas utama, rasio gas, rata – rata hasil gas, atau total gas yang terbakar) dan permulaan bekerja dengan metode DGA, menentukan fungsi keanggotaan sebelumnya untuk tiap–tiap perlengkapan yang diambil. Angka fungsi keanggotaan dan tipenya, segitiga, bel, trapezoidal, yang dibutuhkan tiap pelengkap dapat dibedakan.

Sebagai contoh, ditunjukkan dengan skema pada gambar 4.1, merupakan 4 bentuk segitiga fungsi keanggotaan menjelaskan pelengkap C_2H_4 / C_2H_6 sebelum penormalisasian dimana hubungan pembatasan 0.1, 0.1, 3.0 diberikan berdasarkan tabel 4.1. Seperti fungsi keanggotaan pelengkap C_2H_2 / C_2H_4 dan CH_4 / H_2 dapat di tegaskan sementara.



Gambar 4.1

Triangular membership functions

➤ **Langkah 3 :**

Defuzzifikasi input diseleksi dalam interval antara nol sampai satu.

➤ **Langkah 4 :**

Dengan mengacu hukum i_{TH} , $i = 1, \dots, N_R$ menghitung M_{FT} untuk tiap 8 jenis kerusakan FT'_S (contohnya NF, LT, MT, ..., dan HD):

$$M_{FT} = \left| \sum_{x_i = FT} \mu_{1i}(x_{i1}) \cdot \mu_{2i}(x_{i2}) \cdot \dots \cdot \mu_{mi}(x_{im}) \right| / N_{FT} \quad [1]$$

Dimana N_{FT} merupakan angka kasus dengan tipe kerusakan FT dalam $N (= \sum_{FT} N_{FT})$

data diagnosa digunakan untuk membuat sistem fuzzy; M_{FT} adalah rata-rata kesesuaian x_i , $S \in FT$ untuk hukum R^i .

➤ **Langkah 5:**

Temukan tipe kerusakan FT^a supaya

$$M_{FT}^a = \text{Max} \{M_{NF} \cdot M_{LT} \cdot M_{MT}, \dots, M_n\} \quad [2]$$

Jika dua atau lebih tipe kerusakan mengambil nilai maksimum dalam persamaan (2) atau jika M_{FT}^a adalah nol, konsekwensi FT_i pada hukum R^i diberi null. Perhitungan sebenarnya untuk konsekwensi FT_i dalam (1) dapat ditentukan dengan unik dan, oleh karena itu hukum, hukum R^i tidak memiliki efek dalam dalam diagnosa kerusakan. Jika hanya satu tipe kerusakan

mengambil nilai maksimum dalam persamaan (2). FT_i merupakan ketetapan sebagai FT^α .

➤ **Langkah 6:**

Bila satu tipe kerusakan mengambil nilai maksimum dalam persamaan (2), kreditabilitas CR_i digabung dengan hukum R' diberikan oleh

$$CR_i = (M_{FT^\alpha} - M) / \sum_{FT} M_{FT} \quad [3]$$

Dimana $M = \sum_{FT \neq FT^\alpha} M_{FT} / (F - 1)$; F adalah angka tipe kerusakan, sama dengan 8. Dalam pembelajaran ini ketetapan hukum fuzzy ditentukan dari pemikiran algoritma fuzzy terdahulu yang menghasilkan sebuah pendahuluan sistem diagnosa fuzzy dimana prosedur kesimpulan diwujudkan atau digambarkan sesuai dengan diagnosis sebagaimana diberikan data gas terlarut. Bagaimana pun, seperti dijelaskan sebelumnya, fungsi keanggotaan dibuat dengan ilmu pengetahuan yang ada tentang DGA. Sistem yang diakibatkan masih tidak diketahui untuk situasi praktis. Untuk mendapatkan hasil adaptif yang lebih tinggi untuk data aktual, pada tahap selanjutnya perhitungan perubahan berdasarkan algoritma fuzzy digunakan untuk penyesuaian fungsi keanggotaan hukum fuzzy dan sebuah algoritma yang ada.

4.2 Genetik Algoritma

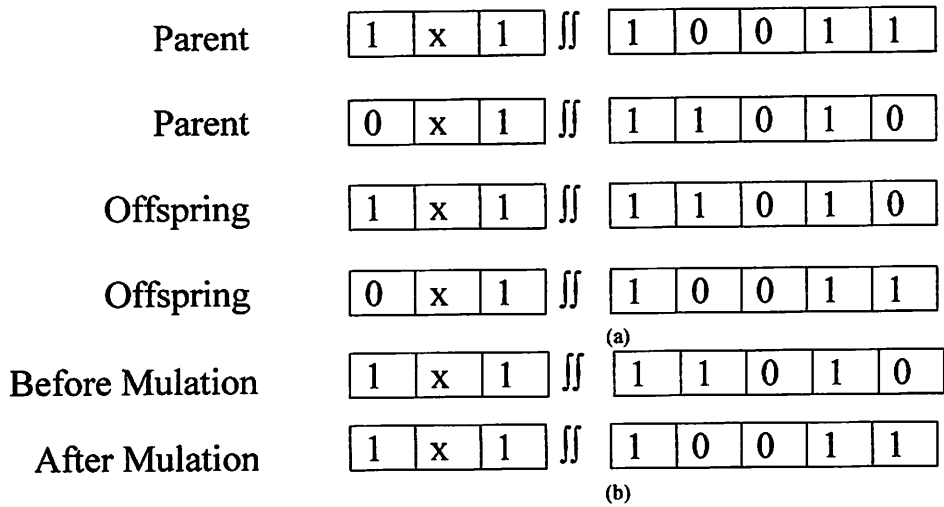
Seperti persamaan (4), dan persamaan (5), sering digunakan untuk penelitian secara luas berdasarkan cara seleksi alam dan genetika alam. Dalam

pengalaman, penghitungan perubahan dioperasikan langsung pada variabel kesimpulan tanpa membutuhkan kode variable biner atau simbol string dan membaca sandinya kembali. Perhitungan dengan metode evolusionari merupakan cara yang sesuai untuk mengoptimalkan masalah dengan variabel nilai sesungguhnya seperti menyetarakan fungsi keanggotaan yang digunakan pada sesi sebelumnya. Keuntungan genetik algoritma akan sesuai dengan semua masalah yang ada dalam simbol atau variabel biner murni. Untuk mengetahui ciri-ciri mereka, penghitungan perubahan dan pengoptimalan metode algoritma genetik digunakan untuk menyelaraskan fungsi keanggotaan dan hukum diagnosis dalam masing –masing kondisi.

Dasar dari pemikiran, cara pengoperasian genetik algoritma dengan kode reproduksi dan mutasi. Berdasarkan 4 operator, algoritma hukum pemotongan digunakan untuk sistem diagnosa fuzzy yang diambil sebelumnya:

➤ **Langkah 1 (Kode dan membaca kode):**

Dalam sistem diagnosis yang sebelumnya, terdapat N_R nominal kesimpulan hukum fuzzy sebagaimana di berikan di persamaan (2), termasuk hukum void. sebuah simbol string S^* pada elemen N_R (“1,””0,” atau “x”) sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.2, Sama–sama diberikan untuk aturan N_R pada hukum pemotongan fuzzy. “1” dalam posisi I_{th} pada tali berarti bahwa hukum I_{th} pada sistem sangat penting, sementara ”0” dianggap tidak penting. Simbol “x” mengindikasikan kesamaan hukum yang void. Hukum yang tidak penting di keluarkan dari sistem, hanya yang perlu saja (disebut hukum bermanfaat) yang ditinggalkan/disisakan



Gambar 4.2

(a) *The crossover* (b) *The mutation operation*

Dengan membaca kode, kombinasi berbeda “1” dan “0” dalam tali (dengan ketetapan “x”) menuntun ke sistem diagnosis fuzzy dengan hukum kesimpulan yang berbeda dispesifikasikan oleh kesamaan tali. Sistem diagnosis yang optimal merupakan salah satu fungsi kesesuaian tertinggi yang di tulis dalam persamaan berikut ini:

$$f^i(S^k) = W_{Rec} \times Rec^k - W_{Rule} \times N_r^k / N_R \quad (4)$$

dimana $f^i(S^k)$ adalah fungsi kesesuaian pada kth tali itu sendiri S^k kepada masalah hukum pemotongan yang optimal; Rec^k adalah rata-rata hasil (dalam persen) pada sistem diagnosis oleh persamaan kth ; W_{Rec} dan W_{rule} adalah nilai berat untuk rata-rata hasil yang didapat dan nilai untuk hukum yang bermanfaat. N_r^k adalah nilai yang bermanfaat (sebagai contoh angka “1” dalam

string / tali kth). Umumnya, W_{Rec} lebih besar dari W_{Rule} yang mengindikasikan rata-rata hasil yang didapat lebih banyak berisi kemungkinan.

➤ **Langkah 2 (Pengambilan huruf awal / inisialisasi):**

Menegaskan *string*/tali kembar S^k merupakan individu pada populasi S^k , $k=1, 2, \dots, G$, yang mengalami perubahan. G adalah ukuran populasi. Populasi inisial pada tali G di ciptakan secara acak. Dalam tali, “1” dan “0” dapat digenerasikan dengan kemungkinan–kemungkinan yang berbeda. Kemungkinan lebih tinggi menciptakan “1” berarti lebih kuat kecenderungan memelihara hukum penggabungan. Dalam skripsi ini, kemungkinan yang sama (0,5) telah ditentukan. Setelah mengevaluasi nilai yang sesuai pada populasi individu, algoritma menunjukkan operasi genetika yang sebelumnya, sebagai contoh: reproduksi, penyeberangan, dan pemindahan untuk mengembangkan populasi.

➤ **Langkah 3 (Reproduksi):**

Reproduksi adalah operasi yang individu populasinya yang diangkat sebagai generasi selanjutnya melalui penyeberangan dan operasi pemindahan. Kriteria pemilihan individu berdasarkan nilai kesesuaian: contohnya kemungkinan menyeleksi individu S^k , $Pr (s^k)$, kedalam pasangan cadangan sesuai dengan :

$$Pr (S^k) = f^l (S^k) / \sum_{j=1}^G f^l (S^j) \quad (5)$$

➤ **Langkah 4 (Penyilangan):**

Untuk sepasang orang tua yang diseleksi secara acak dari populasi, operasi penyilangan dibagi 2 string kedalam segman dengan meletakkan tempat penyeberangan secara acak. Segmen dari orang tua, dibelakang tempat penyilangan di tukar dengan masing-masing bagian untuk menggenerasikan keturunan mereka (seperti di tunjukkan dalam gambar 4.2(a)). Operasi penyeberangan ini ditunjukkan dalam kesesuaian dengan memberi kemungkinan penyeberangan (Pr_{er}).

➤ **Langkah 5 (Pemindahan):**

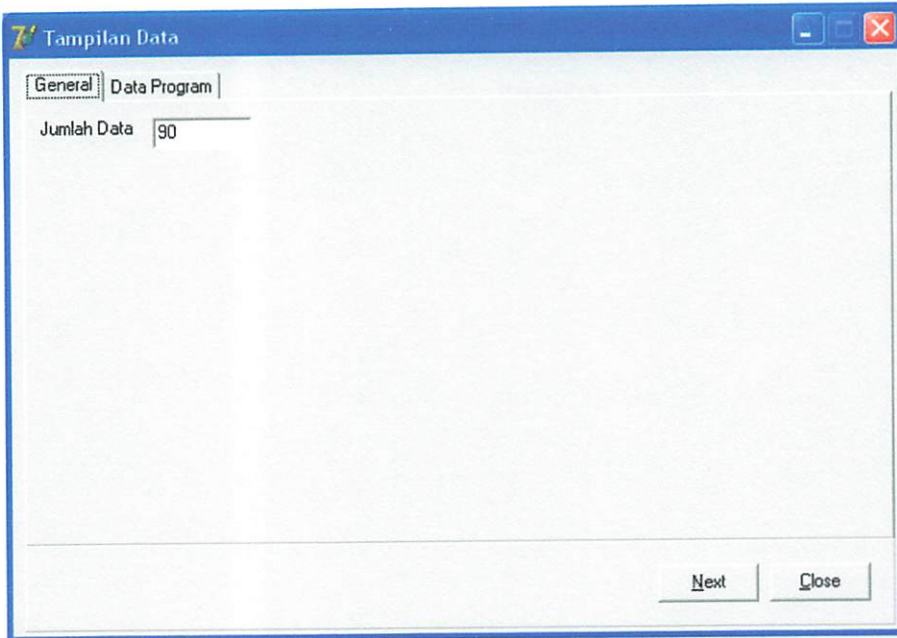
Untuk mencegah berhenti sejak dini pada algoritma yang menuntun ke individu yang hampir sama dalam populasi setelah angka generasi, operasi pemindahan tidak dapat dielakkan. Untuk tiap kekang dari keturunan, operator mutasi membalik secara acak “1” ke “0”, atau sebaliknya (gambar 4.2(b)), menurut kemungkinan mutasi yang diberikan (Pr_{mu}).

➤ **Langkah 6 (kondisi akhir):**

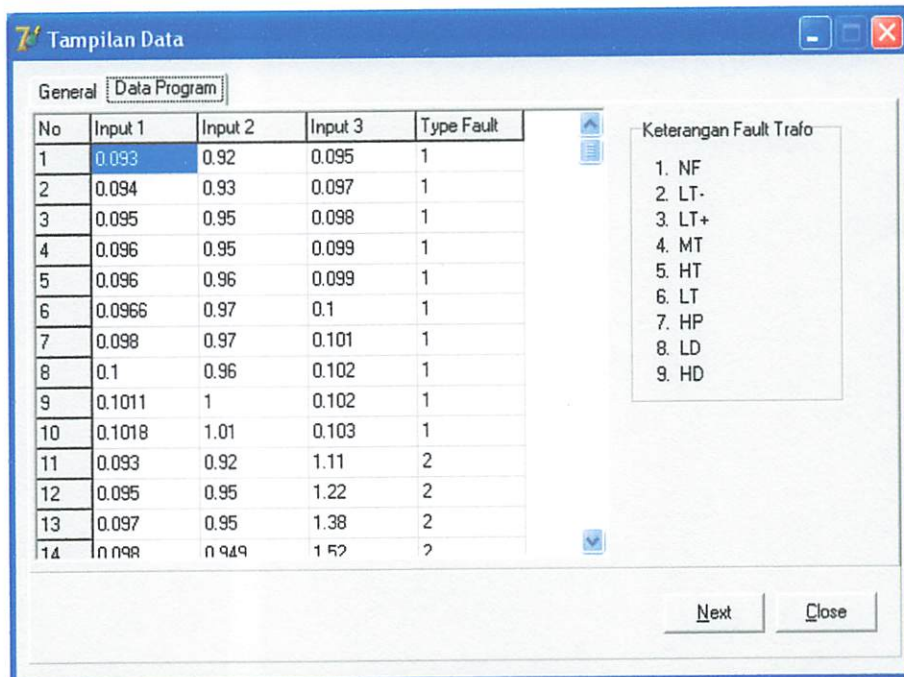
Angka maksimal generasi diambil dengan menghentikan perhitungan algoritma.

4.3 Hasil Analisa Data

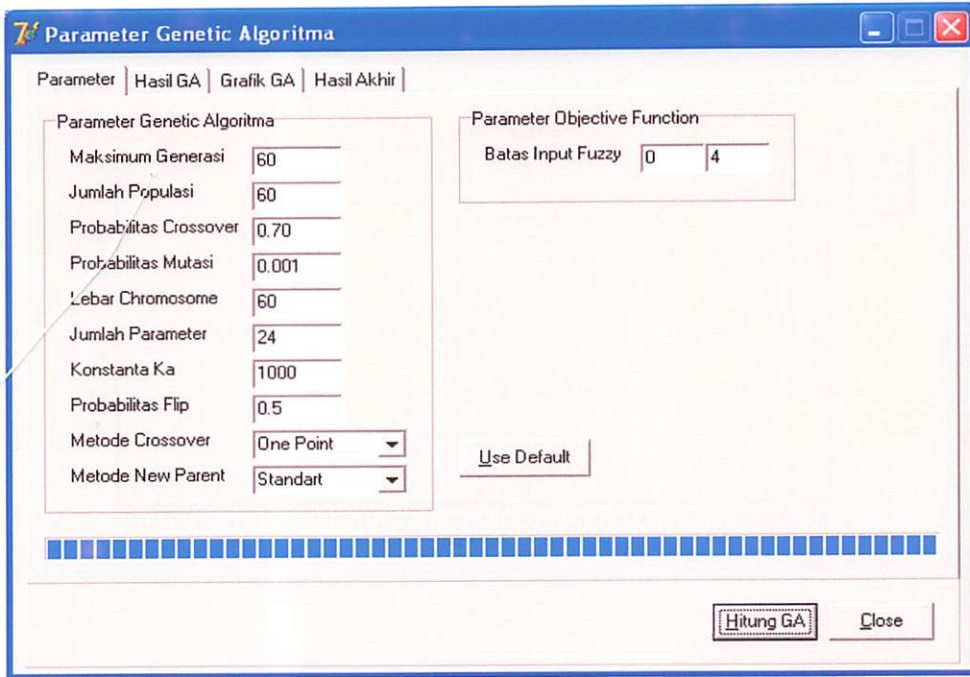
Dengan menggunakan langkah-langkah yang dijelaskan diatas maka data yang diperoleh dapat diselesaikan dan diperoleh hasil sebagai berikut:



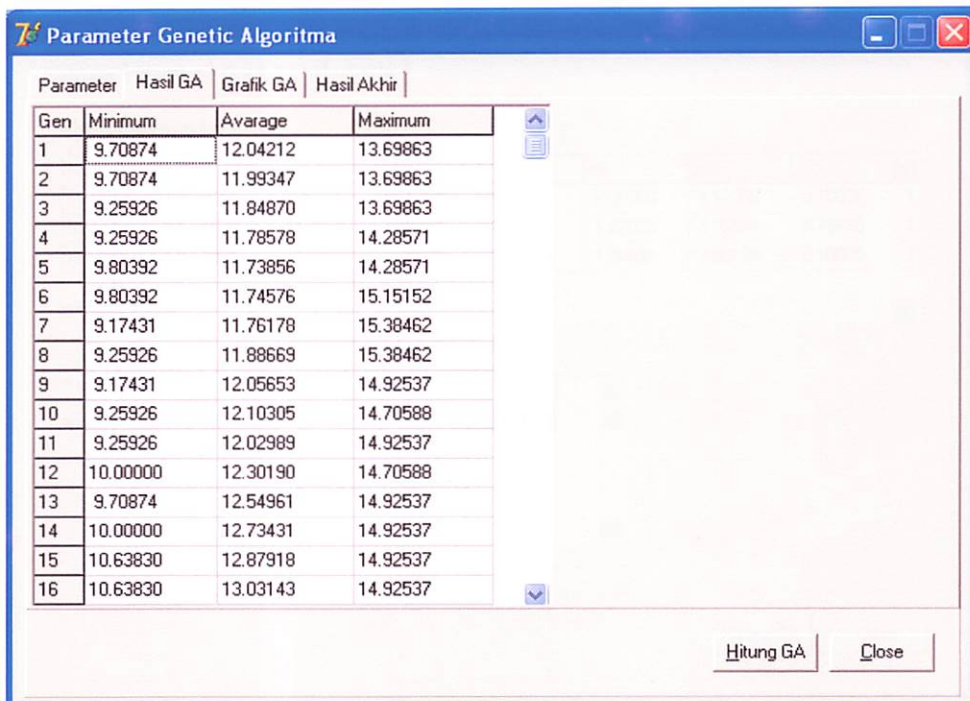
Gambar 4.3
Tampilan Jumlah Data



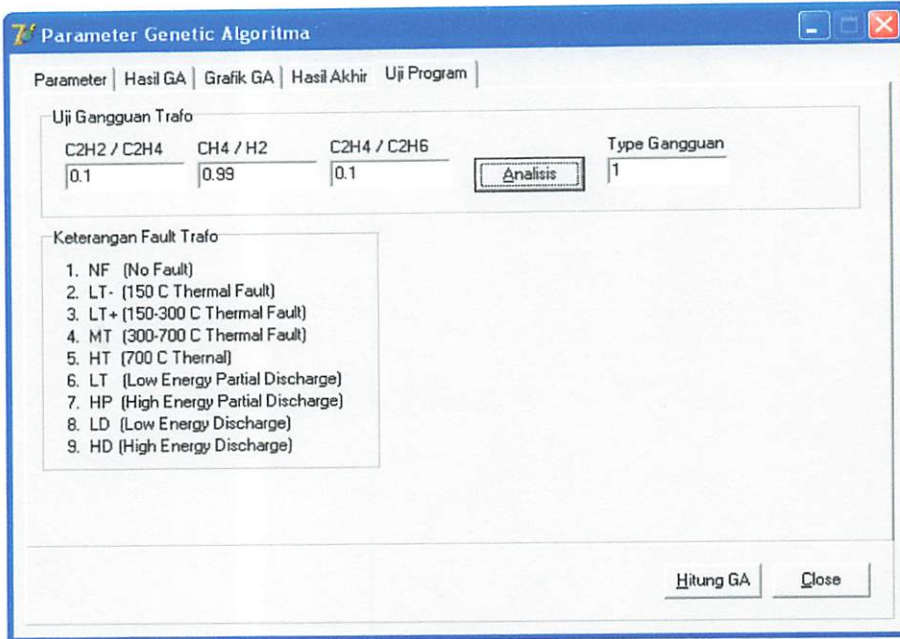
Gambar 4.4
Tampilan Data Program



Gambar 4.5
Parameter Genetic Algorithm



Gambar 4.6
Batasan Parameter Genetic Algorithm



Gambar 4.9
Hasil Uji Program

BAB V

PENUTUP

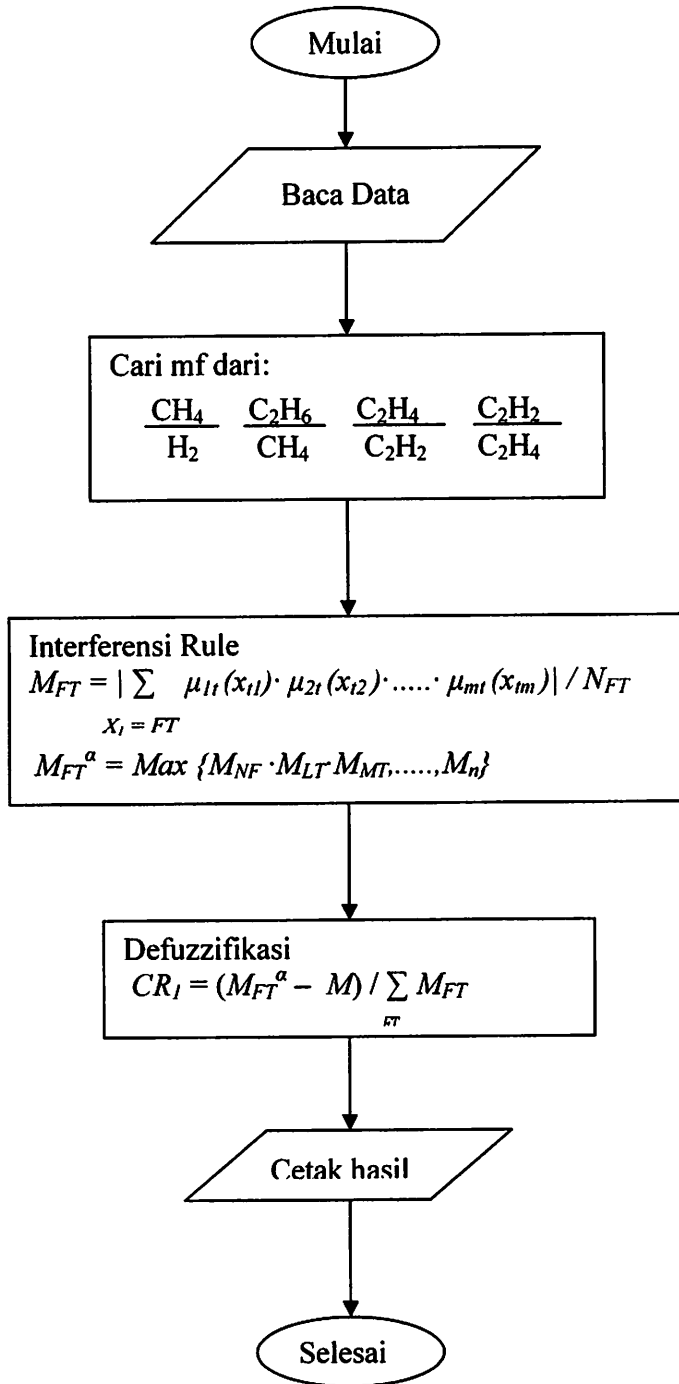
1. Kesimpulan

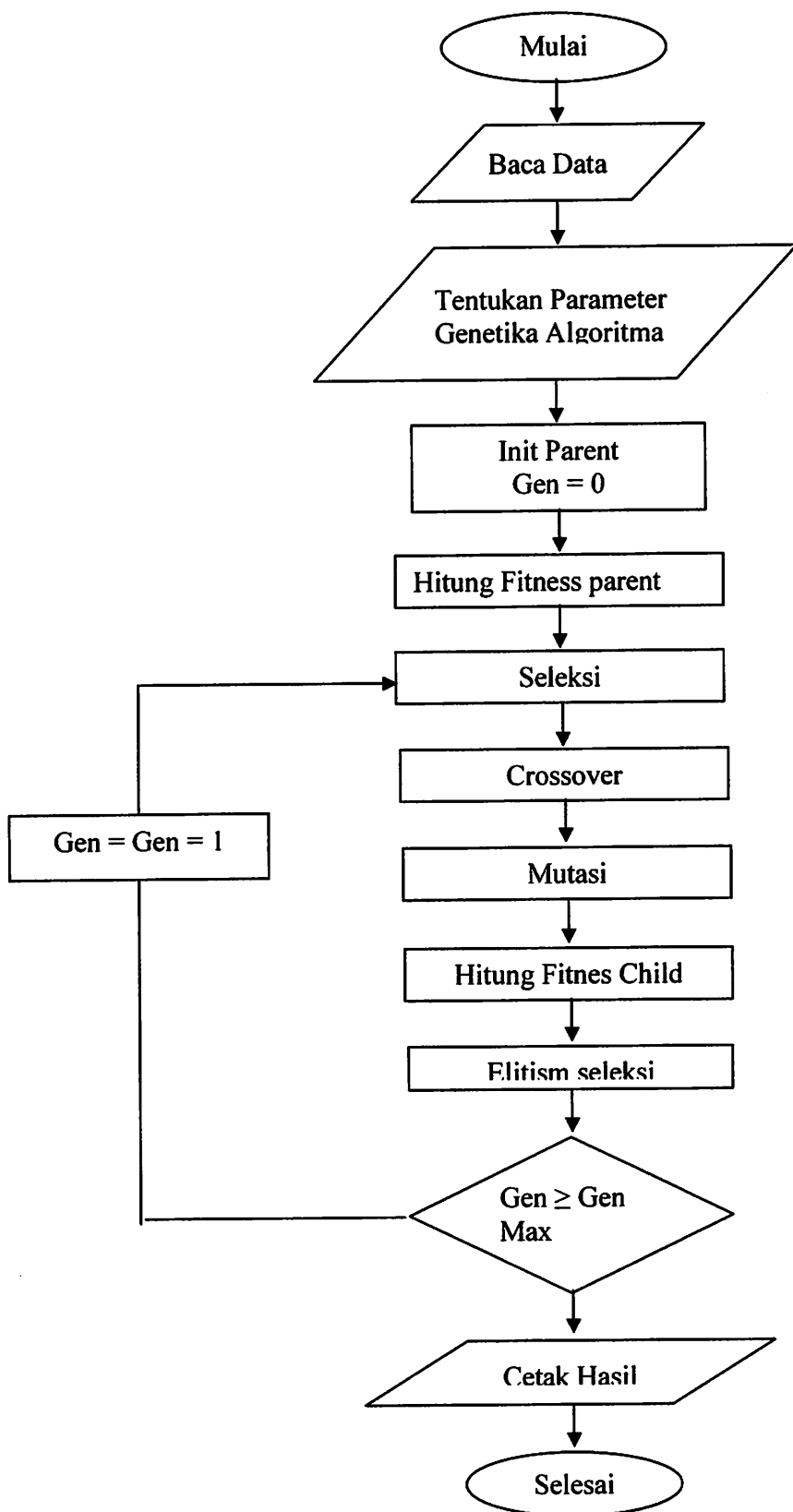
Dari analisa yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan :

1. Genetik algoritma digunakan untuk mencari parameter membership function fuzzy.
2. Parameter membership function fuzzy baru digunakan untuk menganalisa.
3. 30 % program tidak bisa mengenali data training.
4. Pada kondisi low dan high energi discharger diharap minyak pada OLTC segera diganti

2. Saran

1. PLN diharap memperhatikan kualitas minyak trafo dalam OLTC.
2. PLN dalam melakukan pergantian minyak trafo diharap lebih tepat sesuai kondisi minyak.





DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Sri Kusuma Dewi, "Analisis dan Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Toolbox Matlab", Graha Ilmu, Yogyakarta 2002.
- [2]. ASTM D 3612-96, "Standart Test Method for Analysis of Gases Dissilved in Electrical Insulating Oil by Gas Cromatography".
- [3]. "Annual Book of ASTM Standarts IEEE C57.104-1991", Philadelphia, USA, 1980.
- [4]. Istigno MSc., "Analisa Gas Trafo Milik PLN Sektor Jakarta", Laporan Teknik No. 21. LTT.012..90, PLN-LMK, p-3, Jakata, 1990.
- [5]. Dukam, James J., "Transformer Oil Diagnosis Using Fuzzy Logic and neural Networks", Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Canada, 1993.

LAMPIRAN 1



**BERITA ACARA UJIAN SKRIPSI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

1. Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
2. NIM : 99.12.151
3. NIRM : -
4. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
5. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
6. Judul Skripsi : ANALISA KIMIA GAS DALAM
MINYAK TRAFU DISTRIBUSI
150/20 KV MENGGUNAKAN
FUZZY LOGIK DAN GENETIK
ALGORITMA PADA GARDU
INDUK KEBONAGUNG

Dipertahankan dihadapan Majelis Penguji Skripsi Jenjang Strata Satu (S-1) pada :

Hari : Kamis

Tanggal : 31 Maret 2005

Dengan Nilai : 77,05 (Baik)



Panitia Ujian Skripsi

Ir. Mochtar Asroni, MSME

Ketua

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT

Sekretaris

Anggota Penguji

Ir. H. Taufik Hidayat, MT

Penguji Pertama

Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT

Penguji Kedua



INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO S-1
KONSENTRASI TEKNIK ENERGI LISTRIK

FORMULIR PERBAIKAN SKRIPSI

Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
NIM : 99.12.151
Masa Bimbingan : 07 Januari 2005 - 07 Juni 2005
Judul Skripsi : ANALISA KIMIA GAS DALAM MINYAK
TRAFO DISTRIBUSI 150/20 KV
MENGUNAKAN FUZZY LOGIK DAN
GENETIK ALGORITMA PADA GARDU
INDUK KEBONAGUNG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	06 - 04 -2005	Perbaiki kesimpulan	
2.	06 - 04 -2005	Tambahkan teori minyak trafo.	
3.	06 - 04 -2005	Tambahkan teori fuzzy logic	

Disetujui

(Ir. H. Taufik Hidayat, MT)
Penguji Pertama

(Ir. Yusuf Ismail Nakhoda, MT)
Penguji Kedua

Mengetahui,


(Ir. Teguh Herbasuki, MT)
Dosen Pembimbing I

(Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT)
Dosen Pembimbing II



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
2. NIM : 99.12.151
3. NIRM : -
4. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
5. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
6. Judul Skripsi : ANALISA KIMIA GAS DALAM
MINYAK TRAFODISTRIBUSI
150/20 KV MENGGUNAKAN
FUZZY LOGIC DAN GENETIK
ALGORITMA PADA GARDU
INDUK KEBONAGUNG

7. Tanggal Mengajukan Skripsi : 7 Januari 2005
8. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 7 Juli 2005
9. Dosen Pembimbing : Ir. Teguh Herbasuki, MT
10. Telah dievaluasi dengan nilai : 85 (delapan puluh lima) 

Malang, April 2005

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP.Y. 103 9500 274

Disetujui
Dosen Pembimbing 1

Ir. Teguh Herbasuki, MT
NIP. 130 8900 209



LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

1. Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
2. NIM : 99.12.151
3. NIRM : -
4. Jurusan : TEKNIK ELEKTRO
5. Konsentrasi : TEKNIK ENERGI LISTRIK
6. Judul Skripsi : ANALISA KIMIA GAS DALAM
MINYAK TRAFODISTRIBUSI
150/20 KV MENGGUNAKAN
FUZZY LOGIC DAN GENETIK
ALGORITMA PADA GARDU
INDUK KEBONAGUNG

7. Tanggal Mengajukan Skripsi : 7 Januari 2005
8. Tanggal Menyelesaikan Skripsi : 7 Juli 2005
9. Dosen Pembimbing : Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT
10. Telah dievaluasi dengan nilai : 79 (tujuh puluh sembilan) *h*

Malang, April 2005

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro


Ir. F. Yudi Limpraptono, MT
NIP. Y. 103 9500 274

Disetujui
Dosen Pembimbing


Ir. Widodo Pudji Mulyanto, MT
NIP. 102 8700 171



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
Nim : 99.12.151
Masa Bimbingan : 7 JANUARI 2005 - 7 JULI 2005
Judul Skripsi : ANALISA GAS KIMIA DALAM MINYAK TRAFODISTRIBUSI 150/20 KV MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC DAN GENETIK ALGORITMA PADA GARDU INDUK KEBONAGUNG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
1.	14/01'05	Konsultasi masalah bab I	
2.	28/01'05	Konsultasi teori penunjang.	
3.	02/02'05	Konsultasi data & analisa	
4.	09/02'05	Konsultasi bab II, III	
5.	16/02'05	Revisi bab I & II	
6.	26/02'05	Konsultasi bab IV & V.	
7.	10/03'05	Revisi bab IV	
8.	20/03'05	Acc seminar	
9.	26/03'05	Acc ujian skripsi.	
10.			

Malang, 2005
Dosen Pembimbing I

(Ir. TEGUH HERBASUKI, MT)



FORMULIR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : SULIK HENDRA WAHYUDI
Nim : 99.12.151
Masa Bimbingan : 7 JANUARI 2005 - 7 JULI 2005
Judul Skripsi : ANALISA GAS KIMIA DALAM MINYAK TRAFODISTRIBUSI 150/20 KV MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC DAN GENETIK ALGORITMA PADA GARDU INDUK KEBONAGUNG

No.	Tanggal	Uraian	Paraf Pembimbing
.	23/03 '05	Konsultasi Bab I & II	
.	26/03 '05	Revisi Bab I	
.	02/03 '05	Konsultasi Data & Analisa	
.	05/03 '05	Revisi Bab III	
.	12/03 '05	Konsultasi Bab IV	
.	16/03 '05	Revisi Bab IV	
.	18/03 '05	Revisi Bab IV	
.	20/03 '05	Acc Seminar	
.	28/03 '05	ACC Ujian Skripsi	
0.			

Malang, 2005
Dosen Pembimbing II

(Ir. WIDODO-PUDJI M,MT)

LAMPIRAN 2

Data Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Trafo

No.	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	Tipe Fault
1	33.02	35.9	0.017	0.19	2	1
2	41.5	38.6	0.023	0.248	2.56	1
3	42.84	40.7	0.026	0.277	2.83	1
4	44.21	42	0.029	0.31	3.12	1
5	46.98	45.1	0.034	0.43	4.31	1
6	49.18	47.7	0.042	0.5	5	1
7	50.62	49.1	0.049	0.58	5.7	1
8	51.02	50	0.058	0.63	6.23	1
9	51.6	51.6	0.064	0.71	6.9	1
10	52.28	52.8	0.072	0.83	8	2
11	61.19	56.3	0.83	8.9	8.3	2
12	63.12	58.7	0.96	10.1	8.8	2
13	63.37	60.2	1.18	12.2	9.1	2
14	64.21	61	1.35	13.8	9.5	2
15	64.21	62.8	1.53	15.6	9.8	2
16	65.42	64.1	1.69	17.1	10	2
17	66.08	65.9	1.89	18.9	10.7	2
18	67.94	67	2.04	20	11.2	2
19	68.36	68.8	2.13	20.9	11.75	2
20	68.8	70	2.2	22	11.75	3
21	69.3	71	2.81	30.18	32.45	3
22	74.73	72.6	3.12	32.76	34.48	3
23	75.62	73	3.33	34.71	35.78	3
24	76	75	3.56	36.28	37.02	3
25	76.5	76.8	3.76	38.34	29.12	3
26	77.78	78	3.98	40.29	40.8	3
27	78.78	79.3	4.32	43.2	43.2	3
28	79.3	81	4.66	46.1	45.2	3
29	80.2	82.8	4.9	48.55	47.59	3
30	81.18	84	5.05	49.5	48.08	3
31	82.35	85.56	5	53.8	19.6	3
32	92	88.16	5.16	54.3	19.9	3
33	92.8	89.57	5.28	55	20.94	3
34	93.3	92.2	5.478	55.9	2	4
35	94.1	93.75	5.603	56.6		4
36	94.7	95.2	5.75	57.5		4
37	95.2	96	5.93	58.1		5
38	96	98.74	5.98	58.6	30.27	5
39	96.8	100.47	6.08	59	31.11	5
40	98.5	103	6.16		31.58	5
41	100	121.2	8.3		31.98	5
42	127.8	122	8.75	95		
43	128.5	124.6	9.13			
44	129.1	127.3	9.22			



No.	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	Type Fault
45	131.74	129.1	9.47	96.6	32.53	5
46	132.53	131.2	9.64	97.4	32.68	5
47	133	133	9.81	98.1	32.81	5
48	134.26	135.6	9.85	98.5	32.83	5
49	136.73	138.1	10.12	99.2	33.06	5
50	137.25	140	10.28	99.8	33.15	5
51	1661	157.8	13.2	101.3	104.1	6
52	1666.67	160	13.7	102.6	106.3	6
53	1687.63	163.7	14.3	104.4	111.8	6
54	1677.78	166.1	14.9	106.3	113	6
55	1706.06	168.9	15.5	110.1	114.36	6
56	1701	170.1	16.1	113.2	115	6
57	1711.76	174.6	16.9	115	116.6	6
58	1742.16	177.7	17.6	117.8	119.3	6
59	1747.57	180	18.3	119.1	120.9	6
60	1797.08	185.1	18.8	121	121	6
61	1492.38	143	70.3	126.8	130	7
62	1526.9	147.2	71.9	128.9	132.3	7
63	1564.11	150	73	130.05	134	7
64	1606.34	154.3	74.1	132.36	136.6	7
65	1646.14	158.9	75.3	133.1	138	7
66	1660	162.1	76.9	136.6	141.5	7
67	1669.48	166.6	77.5	139.55	143.8	7
68	1688.37	170	78.1	143.27	145.1	7
69	1708	173.6	79.3	148.12	147.8	7
70	1782.5	178.25	80	150.12	150	7
71	2425	1709.3	1826.7	690.5	230.16	8
72	2439	1713.4	1836.1	696	240	8
73	2445	1717.6	1842.3	703	242.4	8
74	2450	1721.9	1850	716.7	245.4	8
75	2457.6	1728	1859.6	721.8	248	8
76	2463	1736.8	1865.3	728.1	248.9	8
77	2469.2	1739.1	1872	733.8	250.1	8
78	2475.3	1742.8	1880	740	251.6	8
79	2479.5	1746.3	1893.7	748.1	252	8
80	2483	1750	1909.3	755.3	253.45	8
81	2515	1785.65	1983.28	762.8	262.13	9
82	2526	1859.14	2047.78	771	263.14	9
83	2532	1873.68	2081.49	779	264.78	9
84	2540	1899.92	2138.37	785.3	265.21	9
85	2552	2067.12	2184.05	797.1	268.75	9
86	2560	2201.6	2218.48	803.8	270.64	9
87	2578	2320.2	2269.12	810.4	272.58	9
88	2590	2442.37	2299.15	815.3	273.59	9
89	2600	2496	2390.9	820.8	274.52	9
90	2610	2583.9	2501.46	833.82	278.87	9

Sumber: Data PT.PLN (PERSERO) P3B REGION JAWA BALI

Malaya
562489
Tidar 18

Data Gas Yang Terlarut Dalam Minyak Trafo

No	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	Tipe Fault
1	0.09300	0.92000	0.09500	1
2	0.09400	0.93000	0.09700	1
3	0.09500	0.95000	0.09800	1
4	0.09600	0.95000	0.09900	1
5	0.09600	0.96000	0.09900	1
6	0.09660	0.97000	0.10000	1
7	0.09800	0.97000	0.10100	1
8	0.10000	0.96000	0.10200	1
9	0.10110	1.00000	0.10200	1
10	0.10180	1.01000	0.10300	1
11	0.09300	0.92000	1.11000	2
12	0.09500	0.95000	1.22000	2
13	0.09700	0.95000	1.38000	2
14	0.09800	0.94900	1.52000	2
15	0.09800	0.96000	1.64000	2
16	0.09900	0.97000	1.75000	2
17	0.10000	0.97000	1.89000	2
18	0.10200	0.98000	1.87000	2
19	0.10200	1.00000	1.87000	2
20	0.10000	1.01000	1.87000	2
21	0.09300	0.95000	0.93000	3
22	0.09500	0.96000	0.95000	3
23	0.09600	0.96000	0.97000	3
24	0.09800	0.98000	0.98000	3
25	0.09800	0.99000	0.98000	3
26	0.09900	0.99000	0.99000	3
27	0.10000	1.00000	1.00000	3
28	0.10100	1.01000	1.02000	3
29	0.10100	1.02000	1.02000	3
30	0.10200	1.02000	1.03000	3
31	0.09300	0.93000	2.74500	4
32	0.09500	0.95000	2.72800	4
33	0.09600	0.96000	2.64400	4
34	0.09800	0.98000	2.63700	4
35	0.09900	0.99000	2.62000	4
36	0.10000	1.00000	2.59000	4
37	0.10200	1.00000	2.55900	4
38	0.10200	1.02000	2.51500	4
39	0.10300	1.02000	2.47300	4
40	0.10300	1.03000	2.43100	4
41	0.09300	0.95000	2.95000	5
42	0.09500	0.95000	2.96000	5
43	0.09700	0.96500	2.98000	5
44	0.09700	0.98000	2.97000	5
45	0.09800	0.98000	2.97000	5
46	0.09900	0.99000	2.98000	5

No	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	Tipe Fault
47	0.10000	1.00000	2.99000	5
48	0.10000	1.01000	3.00000	5
49	0.10200	1.01000	3.00000	5
50	0.10300	1.02000	3.01000	5
51	0.09600	0.09500	0.97000	6
52	0.09600	0.09600	0.96500	6
53	0.09700	0.09700	0.93400	6
54	0.09800	0.09900	0.94000	6
55	0.09900	0.09900	0.96000	6
56	0.09900	0.10000	0.98400	6
57	0.10100	0.10200	0.98600	6
58	0.10000	0.10200	0.98700	6
59	0.10200	0.10300	0.98500	6
60	0.10200	0.10300	1.00000	6
61	1.82000	0.09400	1.04500	7
62	1.98000	0.09600	1.03600	7
63	2.12300	0.09600	1.03400	7
64	2.29000	0.09800	1.02300	7
65	2.42000	0.09900	1.01000	7
66	2.58000	0.09900	1.00000	7
67	2.72000	0.10000	0.99000	7
68	2.83000	0.10200	0.98700	7
69	2.84000	0.10200	1.03000	7
70	2.84000	0.10300	1.03000	7
71	2.65000	0.70000	3.00000	8
72	2.64000	0.71000	2.90000	8
73	2.62000	0.70000	2.90000	8
74	2.58000	0.90000	2.92000	8
75	2.57000	0.81000	2.91000	8
76	2.56000	0.80000	2.92000	8
77	2.55000	0.75000	2.93000	8
78	2.54000	0.70000	2.94000	8
79	2.53000	0.71000	2.96000	8
80	2.53000	0.70000	2.98000	8
81	2.60000	0.71000	2.91000	9
82	2.65600	0.73600	2.93000	9
83	2.67200	0.74000	2.94200	9
84	2.72300	0.74800	2.96100	9
85	2.74000	0.81000	2.96600	9
86	2.76000	0.86000	2.97000	9
87	2.80000	0.90000	2.97300	9
88	2.82000	0.94300	2.98000	9
89	2.91300	0.96000	2.99000	9
90	3.00000	0.99000	2.99000	9

Sumber: Data PT.PLN (PERSERO) P3B REGION JAWA BALI

```
nit uObjFunc;
```

```
interface
```

```
uses uUtils,uInput,uMemberShip;
```

```
type
```

```
TInfRule=record  
  in1,in2,in3,outA:double;  
  typeFault:integer;  
end;
```

```
TInfRuleArr=array of TInfRule;
```

```
TObjFunc=class
```

```
private
```

```
FNInput,FNData:integer;  
FBatasInput:TBatas;  
FData:dArr2;  
FTypF:iArr1;  
FInfRule:TInfRuleArr;  
function FindMin(const rVal1,rVal2,rVal3:double):double;
```

```
public
```

```
constructor Create(const rBatasInput:TBatas;  
  const rData:dArr2;  
  const rTypF:iArr1);  
function doHitung(const rChrom:dArr1):double;  
procedure doHitungAkhir(const rChrom:bArr2;  
  var rRuleSig:iArr1;  
  var rSetting:dArr2;  
  var rSumFx:double;  
  var rSumRules:integer);  
function doAnalisis(const rChrom:bArr2;  
  const rInput:dArr1):integer;  
destructor Destroy;override;  
property NInput:integer read FNInput write FNInput;  
property NData:integer read FNData write FNData;  
end;
```

```
var gObjFunc:TObjFunc;
```

```
gData:dArr2;  
gTypF:iArr1;
```

```
implementation
```

```
{ TObjFunc }
```

```

constructor TObjFunc.Create(const rBatasInput:TBatas;
    const rData:dArr2;
    const rTypF:iArr1);
var i,j:integer;
begin
    inherited Create;
    FBatasInput.min:=rBatasInput.min;
    FBatasInput.max:=rBatasInput.max;
    FNData:=high(rData);
    FNInput:=high(rData[0]);
    SetLength(FData,FNData+1,FNinput+1);
    SetLength(FTypF,FNData+1);
    for i:=1 to FNData do
        begin
            for j:=1 to FNInput do
                begin
                    FData[i,j]:=rData[i,j];
                end;
            FTypF[i]:=rTypF[i];
        end;
    SetLength(FInfRule,65);
    FInfRule[1].typeFault:=1;
    FInfRule[2].typeFault:=1;
    FInfRule[3].typeFault:=2;
    FInfRule[4].typeFault:=2;
    FInfRule[5].typeFault:=1;
    FInfRule[6].typeFault:=1;
    FInfRule[7].typeFault:=2;
    FInfRule[8].typeFault:=4;
    FInfRule[9].typeFault:=1;
    FInfRule[10].typeFault:=1;
    FInfRule[11].typeFault:=2;
    FInfRule[12].typeFault:=4;
    FInfRule[13].typeFault:=1;
    FInfRule[14].typeFault:=1;
    FInfRule[15].typeFault:=2;
    FInfRule[16].typeFault:=4;
    FInfRule[17].typeFault:=1;
    FInfRule[18].typeFault:=1;
    FInfRule[19].typeFault:=2;
    FInfRule[20].typeFault:=2;
    FInfRule[21].typeFault:=1;
    FInfRule[22].typeFault:=1;
    FInfRule[23].typeFault:=3;
    FInfRule[24].typeFault:=4;

```

```
FInfRule[25].typeFault:=1;  
FInfRule[26].typeFault:=1;  
FInfRule[27].typeFault:=4;  
FInfRule[28].typeFault:=5;  
FInfRule[29].typeFault:=6;  
FInfRule[30].typeFault:=6;  
FInfRule[31].typeFault:=6;  
FInfRule[32].typeFault:=6;  
FInfRule[33].typeFault:=8;  
FInfRule[34].typeFault:=7;  
FInfRule[35].typeFault:=7;  
FInfRule[36].typeFault:=8;  
FInfRule[37].typeFault:=8;  
FInfRule[38].typeFault:=7;  
FInfRule[39].typeFault:=7;  
FInfRule[40].typeFault:=8;  
FInfRule[41].typeFault:=8;  
FInfRule[42].typeFault:=8;  
FInfRule[43].typeFault:=8;  
FInfRule[44].typeFault:=8;  
FInfRule[45].typeFault:=8;  
FInfRule[46].typeFault:=8;  
FInfRule[47].typeFault:=9;  
FInfRule[48].typeFault:=9;  
FInfRule[49].typeFault:=8;  
FInfRule[50].typeFault:=8;  
FInfRule[51].typeFault:=9;  
FInfRule[52].typeFault:=9;  
FInfRule[53].typeFault:=8;  
FInfRule[54].typeFault:=8;  
FInfRule[55].typeFault:=9;  
FInfRule[56].typeFault:=9;  
FInfRule[57].typeFault:=8;  
FInfRule[58].typeFault:=8;  
FInfRule[59].typeFault:=9;  
FInfRule[60].typeFault:=9;  
FInfRule[61].typeFault:=9;  
FInfRule[62].typeFault:=9;  
FInfRule[63].typeFault:=9;  
FInfRule[64].typeFault:=9;
```

end;

```
destructor TObjFunc.Destroy;  
begin  
  inherited Destroy;  
end;
```

```

function TObjFunc.FindMin(const rVal1,rVal2,rVal3:double):double;
begin
  result:=rVal1;
  if result>rVal2 then result:=rVal2;
  if result>rVal3 then result:=rVal3;
end;

```

```

function TObjFunc.doHitung(const rChrom:dArr1):double;
var i,j,k,m,sa,sRule,pos:integer;
    dInput,dP,dMFinp,RuleSig:dArr1;
    dRule:dArr2;
    mb:TTrimfArr;
    ip:TInputArr;
    Max,sFx:double;
    InfRule:TInfRuleArr;
begin
  SetLength(ip,4);
  SetLength(dInput,9);
  dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom[0],0,0.1);
  dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom[1],0,0.9);
  dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom[2],0,0.9);
  dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom[3],0,2.0);
  dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom[4],0,2.0);
  dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom[5],0,1.0);
  dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom[6],0,0.9);
  dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom[7],0,2.0);
  SetLength(dP,9);
  dP[1]:=0.1-dInput[1];
  dP[2]:=0.1+dInput[2];
  dP[3]:=1.0-dInput[3];
  dP[4]:=1.0+dInput[4];
  dP[5]:=3.0-dInput[5];
  dP[6]:=3.0+dInput[6];
  dP[7]:=0.1+dInput[7];
  dP[8]:=1.0+dInput[8];
  SetLength(mb,5);
  mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
  mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
  mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
  mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
  ip[1]:=TInput.Create(mb);
  for i:=1 to 4 do
  begin
    mb[i].Free;
  end;
end;

```

```

//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom[8],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom[9],0,0.9);
dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom[10],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom[11],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom[12],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom[13],0,1.0);
dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom[14],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom[15],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[2]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom[16],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom[17],0,0.9);
dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom[18],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom[19],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom[20],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom[21],0,1.0);
dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom[22],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom[23],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];

```

```

SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[3]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
SetLength(dRule,5,4);
SetLength(RuleSig,65);
for i:=1 to 64 do
begin
  RuleSig[i]:=0;
end;
sFx:=0;
for i:=1 to FNData do
begin
  dMFInp:=ip[1].getMfInput(FData[i,1]);
  for j:=1 to 4 do
  begin
    dRule[j,1]:=dMFInp[j];
  end;
  dMFInp:=ip[2].getMfInput(FData[i,2]);
  for j:=1 to 4 do
  begin
    dRule[j,2]:=dMFInp[j];
  end;
  dMFInp:=ip[3].getMfInput(FData[i,3]);
  for j:=1 to 4 do
  begin
    dRule[j,3]:=dMFInp[j];
  end;
  //interferensi rule
  sa:=0;
  pos:=0;
  Max:=0;
  SetLength(InfRule,4*4*4+1);
  for j:=1 to 64 do
  begin
    InfRule[j].in1:=0;
    InfRule[j].in2:=0;
    InfRule[j].in3:=0;
    InfRule[j].outa:=0;
    InfRule[j].typeFault:=FInfRule[j].typeFault;
  end;
end;

```

```

end;
for j:=1 to 4 do
begin
  for k:=1 to 4 do
  begin
    for m:=1 to 4 do
    begin
      inc(sa);
      InfRule[sa].in1:=dRule[j,1];
      InfRule[sa].in2:=dRule[k,2];
      InfRule[sa].in3:=dRule[m,3];
      InfRule[sa].outa:=FindMin(InfRule[sa].in1,InfRule[sa].in2,
        InfRule[sa].in3);
      if InfRule[sa].outa<>0 then
      begin
        RuleSig[sa]:=1;
      end;
      if Max<InfRule[sa].outa then
      begin
        pos:=sa;
        Max:=InfRule[sa].outa;
      end;
    end;
  end;
end;
if FTypF[i]<>0 then
begin
  if abs(FTypF[i]-InfRule[pos].typeFault)<>0 then
  begin
    sFx:=sFx+1;
  end;
end;
end;
sRule:=0;
for i:=1 to 64 do
begin
  if RuleSig[i]=1 then
  begin
    inc(sRule);
  end;
end;
end;
result:=sFx+sRule;
//destroy object input
for j:=1 to 3 do
begin
  ip[j].Free;

```



```

end;
end;

procedure TObjFunc.doHitungAkhir(const rChrom:bArr2;
    var rRuleSig:iArr1;
    var rSetting:dArr2;
    var rSumFx:double;
    var rSumRules:integer);
var i,j,k,m,sa,sRule,pos:integer;
    dInput,dP,dMFImp:dArr1;
    dRule:dArr2;
    mb:TTrimfArr;
    ip:TInputArr;
    Max,sFx:double;
    InfRule:TInfRuleArr;
    rChrom1:dArr1;
begin
    SetLength(rChrom1,high(rChrom));
    rChrom1:=DecodeBinToFloat2(rChrom);
    SetLength(ip,4);
    SetLength(dInput,9);
    SetLength(rSetting,4,9);
    dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[0],0,0.1);
    dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[1],0,0.9);
    dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[2],0,0.9);
    dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[3],0,2.0);
    dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[4],0,2.0);
    dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[5],0,1.0);
    dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[6],0,0.9);
    dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[7],0,2.0);
    SetLength(dP,9);
    dP[1]:=0.1-dInput[1];
    dP[2]:=0.1+dInput[2];
    dP[3]:=1.0-dInput[3];
    dP[4]:=1.0+dInput[4];
    dP[5]:=3.0-dInput[5];
    dP[6]:=3.0+dInput[6];
    dP[7]:=0.1+dInput[7];
    dP[8]:=1.0+dInput[8];
    for i:=1 to 8 do
    begin
        rSetting[1,i]:=dP[i];
    end;
    SetLength(mb,5);
    mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
    mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);

```

```

mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[1]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[8],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[9],0,0.9);
dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[10],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[11],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[12],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[13],0,1.0);
dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[14],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[15],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
for i:=1 to 8 do
begin
  rSetting[2,i]:=dP[i];
end;
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[2]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[16],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[17],0,0.9);
dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[18],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[19],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[20],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[21],0,1.0);

```

```

dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[22],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[23],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
for i:=1 to 8 do
begin
  rSetting[3,i]:=dP[i];
end;
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[3]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
SetLength(dRule,5,4);
SetLength(rRuleSig,65);
for i:=1 to 64 do
begin
  rRuleSig[i]:=0;
end;
sFx:=0;
for i:=1 to FNData do
begin
  dMFInp:=ip[1].getMfInput(FData[i,1]);
  for j:=1 to 4 do
  begin
    dRule[j,1]:=dMFInp[j];
  end;
  dMFInp:=ip[2].getMfInput(FData[i,2]);
  for j:=1 to 4 do
  begin
    dRule[j,2]:=dMFInp[j];
  end;
  dMFInp:=ip[3].getMfInput(FData[i,3]);
  for j:=1 to 4 do

```

```

begin
  dRule[j,3]:=dMFInp[j];
end;
//interferensi rule
sa:=0;
pos:=0;
Max:=0;
SetLength(InfRule,4*4*4+1);
for j:=1 to 64 do
begin
  InfRule[j].in1:=0;
  InfRule[j].in2:=0;
  InfRule[j].in3:=0;
  InfRule[j].outa:=0;
  InfRule[j].typeFault:=FInfRule[j].typeFault;
end;
for j:=1 to 4 do
begin
  for k:=1 to 4 do
  begin
    for m:=1 to 4 do
    begin
      inc(sa);
      InfRule[sa].in1:=dRule[j,1];
      InfRule[sa].in2:=dRule[k,2];
      InfRule[sa].in3:=dRule[m,3];
      InfRule[sa].outa:=FindMin(InfRule[sa].in1,InfRule[sa].in2,
        InfRule[sa].in3);
      if InfRule[sa].outa<>0 then
      begin
        rRuleSig[sa]:=1;
      end;
      if Max<InfRule[sa].outa then
      begin
        pos:=sa;
        Max:=InfRule[sa].outa;
      end;
    end;
  end;
end;
end;
if FTypF[i]<>0 then
begin
  if abs(FTypF[i]-InfRule[pos].typeFault)<>0 then
  begin
    sFx:=sFx+1;
  end;
end;

```

```

    end;
end;
rSumFx:=sFx;
sRule:=0;
for i:=1 to 64 do
begin
    if rRuleSig[i]=1 then
    begin
        inc(sRule);
    end;
end;
rSumRules:=sRule;
//destroy object input
for j:=1 to 3 do
begin
    ip[j].Free;
end;
end;

```

```

function TObjFunc.doAnalysis(const rChrom:bArr2;
    const rInput:dArr1):integer;
var i,j,k,m,sa,sRule,pos:integer;
    dInput,dP,dMFINp:dArr1;
    dRule:dArr2;
    mb:TTrimfArr;
    ip:TInputArr;
    Max,sFx:double;
    InfRule:TInfRuleArr;
    rChrom1:dArr1;
begin
    SetLength(rChrom1,high(rChrom));
    rChrom1:=DecodeBinToFloat2(rChrom);
    SetLength(ip,4);
    SetLength(dInput,9);
    dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[0],0,0.1);
    dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[1],0,0.9);
    dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[2],0,0.9);
    dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[3],0,2.0);
    dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[4],0,2.0);
    dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[5],0,1.0);
    dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[6],0,0.9);
    dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[7],0,2.0);
    SetLength(dP,9);
    dP[1]:=0.1-dInput[1];
    dP[2]:=0.1+dInput[2];
    dP[3]:=1.0-dInput[3];

```

```

dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[1]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[8],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[9],0,0.9);
dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[10],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[11],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[12],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[13],0,1.0);
dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[14],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[15],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[2]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
//-----
dInput[1]:=GetBatasToReal(rChrom1[16],0,0.1);
dInput[2]:=GetBatasToReal(rChrom1[17],0,0.9);

```

```

dInput[3]:=GetBatasToReal(rChrom1[18],0,0.9);
dInput[4]:=GetBatasToReal(rChrom1[19],0,2.0);
dInput[5]:=GetBatasToReal(rChrom1[20],0,2.0);
dInput[6]:=GetBatasToReal(rChrom1[21],0,1.0);
dInput[7]:=GetBatasToReal(rChrom1[22],0,0.9);
dInput[8]:=GetBatasToReal(rChrom1[23],0,2.0);
SetLength(dP,9);
dP[1]:=0.1-dInput[1];
dP[2]:=0.1+dInput[2];
dP[3]:=1.0-dInput[3];
dP[4]:=1.0+dInput[4];
dP[5]:=3.0-dInput[5];
dP[6]:=3.0+dInput[6];
dP[7]:=0.1+dInput[7];
dP[8]:=1.0+dInput[8];
SetLength(mb,5);
mb[1]:=TTrimf.Create(0,0,dP[2],FBatasInput);
mb[2]:=TTrimf.Create(dP[1],dP[7],dP[4],FBatasInput);
mb[3]:=TTrimf.Create(dP[3],dP[8],dP[6],FBatasInput);
mb[4]:=TTrimf.Create(dP[5],FBatasInput.max,FBatasInput.max,FBatasInput);
ip[3]:=TInput.Create(mb);
for i:=1 to 4 do
begin
  mb[i].Free;
end;
SetLength(dRule,5,4);
sFx:=0;
dMFInp:=ip[1].getMfInput(rInput[1]);
for j:=1 to 4 do
begin
  dRule[j,1]:=dMFInp[j];
end;
dMFInp:=ip[2].getMfInput(rInput[2]);
for j:=1 to 4 do
begin
  dRule[j,2]:=dMFInp[j];
end;
dMFInp:=ip[3].getMfInput(rInput[3]);
for j:=1 to 4 do
begin
  dRule[j,3]:=dMFInp[j];
end;
//interferensi rule
sa:=0;
pos:=0;
Max:=0;

```

```

SetLength(InfRule,4*4*4+1);
for j:=1 to 64 do
begin
  InfRule[j].in1:=0;
  InfRule[j].in2:=0;
  InfRule[j].in3:=0;
  InfRule[j].outa:=0;
  InfRule[j].typeFault:=FInfRule[j].typeFault;
end;
for j:=1 to 4 do
begin
  for k:=1 to 4 do
  begin
    for m:=1 to 4 do
    begin
      inc(sa);
      InfRule[sa].in1:=dRule[j,1];
      InfRule[sa].in2:=dRule[k,2];
      InfRule[sa].in3:=dRule[m,3];
      InfRule[sa].outa:=FindMin(InfRule[sa].in1,InfRule[sa].in2,
        InfRule[sa].in3);
      if Max<InfRule[sa].outa then
      begin
        pos:=sa;
        Max:=InfRule[sa].outa;
      end;
    end;
  end;
end;
result:=round(InfRule[pos].typeFault);
//destroy object input
for j:=1 to 3 do
begin
  ip[j].Free;
end;
end;

end.

```


unit uMemberShip;

interface

uses uUtils;

type

TTrimf=Class

private

Fparam1,Fparam2,Fparam3:double;

FRange:TBatas;

function getRange:TBatas;

procedure setRange(const rRange:TBatas);

public

constructor Create;overload;

**constructor Create(const rParam1,rParam2,rParam3:double;
const rRange:TBatas);overload;**

constructor Create(const rTrimf:TTrimf);overload;

function getMyu(const rInput:double):double;virtual;

property Param1:double read FParam1 write FParam1;

property Param2:double read FParam2 write FParam2;

property Param3:double read FParam3 write FParam3;

property Range:TBatas read getRange write setRange;

end;

TTrimfArr=array of TTrimf;

TTrapmf=class(TTrimf)

private

FParam4:double;

public

constructor Create;overload;

**constructor Create(const rParam1,rParam2,rParam3,rParam4:double;
const rRange:TBatas);overload;**

constructor Create(const rTrapmf:TTrapmf);overload;

function getMyu(const rInput:double):double;override;

property Param4:double read FParam4 write FParam4;

end;

TTrapmfArr=array of TTrapmf;

implementation

{ TTrimf }

constructor TTrimf.Create;

```

begin
  inherited Create;
end;

constructor TTrimf.Create(const rparam1,rparam2,rparam3:double;
  const rRange:TBatas);
begin
  inherited Create;
  FParam1:=rParam1;
  FParam2:=rParam2;
  FParam3:=rParam3;
  FRange.min:=rRange.min;
  FRange.max:=rRange.max;
end;

constructor TTrimf.Create(const rTrimf:TTrimf);
begin
  inherited Create;
  FParam1:=rTrimf.Fparam1;
  FParam2:=rTrimf.Fparam2;
  FParam3:=rTrimf.Fparam3;
  FRange:=rTrimf.Range;
end;

//data accessing
function TTrimf.getRange:TBatas;
begin
  result.min:=FRange.min;
  result.max:=FRange.max;
end;

procedure TTrimf.setRange(const rRange:TBatas);
begin
  FRange.min:=rRange.min;
  FRange.max:=rRange.max;
end;

//data operation
function TTrimf.getMyu(const rInput:double):double;
begin
  result:=0;
  if (rInput<FRange.min) or (rInput>FRange.max) then
  begin
    result:=0;
  end
  else

```

```

begin
  if (rInput>=FParam1) and (rInput<=FParam2) then
  begin
    if (FParam2-FParam1)=0 then
    begin
      result:=0;
    end
    else
    begin
      result:=(rInput-FParam1)/(FParam2-FParam1);
    end;
  end
  else if (rInput>=FParam2) and (rInput<=FParam3) then
  begin
    if (FParam3-FParam2)=0 then
    begin
      result:=0;
    end
    else
    begin
      result:=(FParam3-rInput)/(FParam3-FParam2);
    end;
  end;
end;
end;
end;

```

```
{ TTrapmf }
```

```

constructor TTrapmf.Create;
begin
  inherited Create;
end;

```

```

constructor TTrapmf.Create(const rParam1,rParam2,rParam3,rParam4:double;
  const rRange:TBatas);
begin
  inherited Create(rParam1,rParam2,rParam3,rRange);
  FParam4:=rParam4;
end;

```

```

constructor TTrapmf.Create(const rTrapmf:TTrapmf);
begin
  inherited Create(rTrapmf.Fparam1,rTrapmf.Param2,rTrapmf.Fparam3,
    rTrapmf.FRange);
  FParam4:=rTrapmf.FParam4;
end;

```

```

function TTrapmf.getMyu(const rInput:double):double;
begin
  result:=0;
  if (rInput<Range.min) or (rInput>Range.max) then
  begin
    result:=0;
  end
  else
  begin
    if (rInput>=Param1) and (rInput<=Param2) then
    begin
      if (Param2-Param1)=0 then
      begin
        result:=0;
      end
      else
      begin
        result:=(rInput-Param1)/(Param2-Param1);
      end;
    end
    else if (rInput>=Param2) and (rInput<=Param3) then
    begin
      result:=1;
    end
    else if (rInput>=Param3) and (rInput<=FParam4) then
    begin
      if (FParam4-Param3)=0 then
      begin
        result:=0;
      end
      else
      begin
        result:=(FParam4-rInput)/(FParam4-Param3);
      end;
    end;
  end;
end;
end;
end.

```

```

unit uUtils;

interface

uses SysUtils;

type
  TSort=(asc,dec);

  TBatas=record
    min,max:double;
  end;

  TBatasArr1=array of TBatas;
  TBatasArr2=array of array of TBatas;

  dArr1=array of double;
  dArr2=array of array of double;
  iArr1=array of integer;
  iArr2=array of array of integer;
  bArr1=array of boolean;
  bArr2=array of array of boolean;
  sArr1=array of String;

  TAlleleTCSC=record
    Lokasi,TypeAlat,Setting:double;
  end;

  TChromTCSC1=array of TAlleleTCSC;

  TAlleleUpfc=record
    Lokasi,TypeAlat,Tap,Sudut:double;
  end;

  TChromUpfc1=array of TAlleleUpfc;

function RealToStr(Num:double;Pecahan:byte):String;
function StrToReal(Huruf:string):double;
function Pangkat(Val,pangkat:double):double;

procedure Swap(var X,Y:byte);overload;
procedure Swap(var X,Y:integer);overload;
procedure Swap(var X,Y:word);overload;
procedure Swap(var X,Y:double);overload;
procedure Swap(var X,Y:extended);overload;
procedure Swap(var X,Y:string);overload;

```

```
procedure Swap(var X,Y:boolean);overload;
```

```
procedure BubleSort(var aData:dArr1;const aType:TSort);overload;
```

```
procedure BubleSort(var aData:iArr1;const aType:TSort);overload;
```

```
procedure BubleSort(var aData:sArr1;const aType:TSort);overload;
```

```
function DecodeBinToFloat1(const aData:bArr1):double;
```

```
function DecodeBinToFloat2(const aData:bArr2):dArr1;
```

```
function GetBatas(const aValue,aMin,aMax:double):double;
```

```
function GetFlip(const aFlip:double):boolean;
```

```
function GetBatasToReal(const aValue,aMin,aMax:double):double;
```

```
function GetRealToBatas(const aValue,aMin,aMax:double):double;
```

implementation

```
function RealToStr(Num:double;Pecahan:byte):String;
```

```
var Hasil:String;
```

```
    le:byte;
```

```
begin
```

```
    le:=sizeof(Num);
```

```
    Str(Num:le:Pecahan,Hasil);
```

```
    Result:=Hasil;
```

```
end;
```

```
function Pangkat(Val,pangkat:double):double;
```

```
begin
```

```
    Result:=exp(Pangkat*ln(Val));
```

```
end;
```

```
function StrToReal(Huruf:string):double;
```

```
var Temp:double;
```

```
    Code:integer;
```

```
begin
```

```
    val(Huruf,Temp,Code);
```

```
    Result:=Temp;
```

```
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:byte);
```

```
var tmp:byte;
```

```
begin
```

```
    tmp:=X;
```

```
    X:=Y;
```

```
    Y:=tmp;
```

```
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:integer);
var tmp:integer;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
  Y:=tmp;
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:word);
var tmp:word;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
  Y:=tmp;
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:double);
var tmp:double;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
  Y:=tmp;
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:extended);
var tmp:extended;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
  Y:=tmp;
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:string);
var tmp:string;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
  Y:=tmp;
end;
```

```
procedure Swap(var X,Y:boolean);
var tmp:boolean;
begin
  tmp:=X;
  X:=Y;
```

```
Y:=tmp;  
end;
```

```
procedure BubleSort(var aData:dArr1;const aType:TSort);  
var i,j:integer;  
begin  
  for i:=1 to (high(aData)-1) do  
    begin  
      for j:=i to high(aData) do  
        begin  
          if aType=asc then  
            begin  
              if aData[i]>aData[j] then  
                begin  
                  Swap(aData[i],aData[j]);  
                end;  
            end  
          else if aType=dec then  
            begin  
              if aData[i]<aData[j] then  
                begin  
                  Swap(aData[i],aData[j]);  
                end;  
            end;  
          end;  
        end;  
      end;  
    end;  
  end;  
end;
```

```
procedure BubleSort(var aData:iArr1;const aType:TSort);  
var i,j:integer;  
begin  
  for i:=1 to (high(aData)-1) do  
    begin  
      for j:=i to high(aData) do  
        begin  
          if aType=asc then  
            begin  
              if aData[i]>aData[j] then  
                begin  
                  Swap(aData[i],aData[j]);  
                end;  
            end  
          else if aType=dec then  
            begin  
              if aData[i]<aData[j] then  
                begin
```



```

    Swap(aData[i],aData[j]);
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

procedure BubleSort(var aData:sArr1;const aType:TSort);
var i,j:integer;
begin
for i:=1 to (high(aData)-1) do
begin
for j:=i to high(aData) do
begin
if aType=asc then
begin
if aData[i]>aData[j] then
begin
Swap(aData[i],aData[j]);
end;
end
else if aType=dec then
begin
if aData[i]<aData[j] then
begin
Swap(aData[i],aData[j]);
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;
end;

```

```

function DecodeBinToFloat1(const aData:bArr1):double;
var i:integer;
powerof2,sa:double;
begin
result:=0;
powerof2:=1;
sa:=pangkat(2,high(aData))-1;
for i:=high(aData) downto 1 do
begin
if aData[i]=true then
begin
result:=result+powerof2;
end;
powerof2:=powerof2*2;

```

```
end;  
result:=result/sa;  
end;
```

```
function DecodeBinToFloat2(const aData:bArr2):dArr1;  
var i,j:integer;  
    Data:bArr1;  
    nnData:bArr2;  
    NData,NLength:integer;  
begin  
    NData:=high(aData)+1;  
    NLength:=high(aData[0])+1;  
    SetLength(Data,NLength+1);  
    SetLength(result,NData+1);  
    SetLength(nnData,NData+1,NLength+1);  
    for i:=0 to NData-1 do  
    begin  
        for j:=0 to NLength-1 do  
        begin  
            nnData[i+1,j+1]:=aData[i,j];  
        end;  
    end;  
    for i:=1 to NData do  
    begin  
        for j:=1 to NLength do  
        begin  
            Data[j]:=nnData[i,j];  
        end;  
        result[i]:=DecodeBinToFloat1(Data);  
    end;  
end;
```

```
function GetBatas(const aValue,aMin,aMax:double):double;  
begin  
    if aValue>1.0 then raise Exception.Create('Value tidak boleh lebih dari 1');  
    if aValue<0.0 then raise Exception.Create('Value tidak boleh kurang dari 0');  
    result:=aMin+aValue*(aMax-aMin);  
end;
```

```
function GetFlip(const aFlip:double):boolean;  
begin  
    result:=false;  
    if random<=aFlip then result:=true;  
end;
```

```
function GetBatasToReal(const aValue,aMin,aMax:double):double;
```

```
begin
  result:=aMin+aValue*(aMax-aMin);
end;
```

```
function GetRealToBatas(const aValue,aMin,aMax:double):double;
```

```
begin
  result:=(aValue-aMin)/(aMax-aMin);
end;
```

```
end.
```

Adaptive Fuzzy Diagnosis System for Dissolved Gas Analysis of Power Transformers

Hong-Tzer Yang *Member, IEEE*

Chiung-Chou Liao *Non-member*

*Department of Electrical Engineering
Chung Yuan Christian University,
Chung Li, 320 TAIWAN*

Abstract—To enhance the fault diagnosis abilities for the dissolved gas analysis (DGA) of the power transformers, this paper proposes a novel adaptive fuzzy system for the incipient fault recognition through evolution enhanced design approach. Complying with the practical gas records and associated fault causes as much as possible, a fuzzy reasoning algorithm is presented to establish a preliminary fuzzy diagnosis system. In the system, an evolutionary optimization algorithm is further relied on to fine-tune the membership functions of the if-then inference rules. To make the diagnosis system intensively compact and the inference process more understandable, a pruning scheme is then developed to filter out the insignificant or redundant rules. The capabilities of the proposed diagnosis system for the transformer DGA decision support have been extensively verified through the practical test data collected from Taiwan Power Company (TPC).

Keywords: *Transformer, Dissolved Gas Analysis, Evolutionary Computations, Fuzzy Diagnosis System*

I. INTRODUCTION

Power transformers in service are subjected to a wide variety of electrical and thermal stresses, which would lead to faults of partial discharge (or corona), thermal heating, or arcing in the transformers. As a result, stemming from different location, severity, and energy release of the events occurring inside, various types and concentrations of gases, such as H_2 , C_2H_2 , C_2H_4 , C_2H_6 , CH_4 , CO_2 , and CO , can be generated and dissolved in the oil of the transformers. According to the patterns of the gases that are sampled from the oil and analyzed by standard gas chromatographic procedure, diverse DGA methods [1-7] have been employed to identify the incipient faults that may exist in the transformer before evolving into serious ones.

However, the DGA methods cannot provide a fully objective and accurate basis [7] without requiring the intervention, usually in a form of group discussion, of the experienced diagnostic experts to achieve a final conclusion of the possible faults [8]. If the conclusion cannot be arrived at, taking the suspected transformer off-line and disassembling it for further internal examination are inevitable. Due to the time consuming and complicated DGA procedure, the knowledge embedded in the previous gas records and their corresponding diagnostic conclusions becomes valuable information that helps with the future diagnosis

of similar cases.

On the other hand, owing to the involvement of the human experts in the DGA procedure, large amount of uncertainty and vagueness would exist in the data for the diagnostic cases. Further, arising from the process of sampling, measuring and analyzing in the laboratory, the data collected from the DGA may also contain plenty of noise and contradiction. The facts make the knowledge extraction, or generation of expert rules very difficult out of the nonlinear, complex, and uncertain relationships of symptoms (gases dissolved in oil) to the diagnoses for the faults of the transformers. As a result, the DGA is considered not a science, but an art subject to variability [7].

Recently, the artificial neural networks (ANNs) based systems [9,10] have received considerable attention and obtained many successful applications in the aspects of learning from examples and discovering the underlying regularities by generalization. The highly recognizing capabilities of the ANNs in unveiling the incipient faults of the transformer from the data for DGA have been demonstrated. Nevertheless, the ANNs have the inherent defects of long system-implementing time. Plus, knowledge embedded in the black-box type networks is presumably not easy to interpret. It follows that even the extraction of simple rules, which was expected from the trained ANNs, is not straightforward enough in practical applications.

The diagnostic approaches using fuzzy expert systems have also been devoted to solving the transformer DGA [11] problem. Generally, the approaches were founded on existing classification criteria, like the IEC/IEEE standards [4,5,7] for DGA. The explicit linguistic if-then rules make the conclusion drawn from the inference process more transparent and explainable. However, the associated membership functions and the diagnostic rules were given on the basis of experiences or trial-and-error tests. Consequently, the expert systems could not learn on their own from the previous examples. The practical diagnosis records out of the DGA, therefore, often cannot be put to full use in the related diagnosis work.

To circumvent the disadvantages in establishing the fuzzy diagnosis schemes, the authors [12] have developed a prototype self-learning fuzzy system for the transformer incipient fault classification. According to the historical diagnostic cases, the fuzzy diagnosis system can be automatically built. But, due to simultaneous determination of the membership functions and the inference rule table in the fuzzy system, the numbers of classification attributes and fuzzy partitions basically were limited to avoid exploding of the number of decision variables to be determined. Moreover, possible redundancy of the rules achieved may not be detected, making the developed system

PE-069-PWRD-0-12-1998 A paper recommended and approved by the IEEE Transformers Committee of the IEEE Power Engineering Society for publication in the IEEE Transactions on Power Delivery Manuscript submitted October 27, 1997; made available for printing December 17, 1998.

unnecessarily swollen.

In this paper, a novel evolution computation enhanced method is proposed to ameliorate the fuzzy diagnosis capabilities for the DGA of transformers. Starting with the existing criteria of interpreting fault gases, like the Dornenburg and the Rogers gas ratio methods described in the IEC/IEEE standards [4,5,7], the proposed method establishes a prior set of linguistic properties and corresponding membership functions for each attribute (i.e., input variable) of classification. The historical gas data and diagnoses collected from the utilities transformer laboratory then serve as the set of training data. Based on the training data, a fuzzy reasoning algorithm is designed to compose a preliminary table of fuzzy production rules.

In an attempt to reach an optimal recognition rate in a least-error sense, an evolutionary computation algorithm [13,14] is further integrated into the fuzzy system to tune the membership functions. With the diagnosis system thus obtained, a pruning scheme based on the genetic algorithm [15] is finally developed to remove the redundant or insignificant diagnostic rules and, therefore, to condense the fuzzy diagnosis system. Summarily, the proposed method aims at

- constructing the systems so much from the existing classification criteria as from the previous diagnostic case data so that the learning efforts can be abated;
- learning diagnostic cases fully automatically by tuning the membership functions and related rules through evolutionary computations so that the gas data can be interpreted using the fuzzy inference rules, an advantage which may give rise to a new domain knowledge; and
- pruning out the redundant or insignificant diagnostic rules of the trained fuzzy system by solving an optimization problem, which can achieve the optimal size of the diagnosis system.

This paper is organized as follows. After the introduction, interpretation of the transformer incipient faults via the DGA approach is described in Sec. II. Next, the general structure of fuzzy diagnosis systems and the proposed adaptive method are stated in Sec. III and IV, respectively. Then, presented in Sec. V are diverse numerical test results of the developed systems on the practical dissolved gas records of TPC 69kV power transformers. Finally our conclusions are given in Sec. VI.

II. INTERPRETATION OF THE DISSOLVED GASES

As an alternative to the acoustic approaches to detection of the incipient faults occurring in the transformers, the DGA methods [1-7] have been widely used by the utilities to interpret the dissolved gases. Shown in Table I is a sample report regarding the gas contents extracted from the oil of a 69kV transformer and analyzed by the TPC DGA experts using gas chromatography on different dates. According to the pattern of the gases composition, their types and quantities, the interpretation approaches below for dissolved gases are extensively followed [1-7]:

- Key Gas Method
- IEEE Gas Guide C57.104-1991
- Dornenburg Gas Ratio

TABLE I
GAS DATA EXTRACTED FROM THE TRANSFORMER OIL
FOR DGA (IN PPM)

Date	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₂ H ₄	TCG
11/19/91	10698	54165	835	74	25	12	19	2	0	132
04/25/92	1547	26924	931	80	47	20	30	6	0	183
05/18/93	8969	40105	1432	90	38	32	56	14	0	230
07/18/94	2163	38187	2361	155	66	59	98	17	0	395

TCG: Total combustible gases

- Rogers Gas Ratio
- IEC Standard 599

Among these methods are either the gas concentrations and the total combustible gases (TCG) or the ratios of the respective gases employed as the attributes of classification of the faults. Common to these interpretation schemes is the setting of multiple numerical thresholds that divide the attributes, the gases or the ratio of gases, into a number of intervals. Recognizing what combination of the intervals, which the gas data to be interpreted fit most, tells the causes of the possible faults.

For instance, listed in Table II are the representative criteria suggested by the IEC/IEEE Standards [4,5,7]. As noted from the table, although in many cases a clear answer may be obtained, often are the cases where the actual gas ratios are applicable to no specific combination, arising from the existing uncertainties of the transformer loading history, the manufacturing process, as well as the sampling operations of the oil. In the IEEE Guide [7], the interpretation of dissolved gas-in-oil data, therefore, is not accounted to be a science but an art.

Due to the ambiguity and vagueness of a single DGA approach, multiple DGA methods listed above are frequently used as a complement to each other [8]. Generally, in such conditions the diagnosis experts must involve themselves in a group meeting to achieve a conclusion. Further, internal inspections of the suspected and thus de-energized transformers are usually required to confirm the actual faults. As a consequence, the final diagnoses are significantly distinct from those out of a single DGA approach.

For example, shown in Fig. 1 are the 561 actual diagnostic results of the 156 TPC 69kV transformers. In this figure, the

TABLE II
IEC/IEEE CODES FOR THE INTERPRETATION OF DGA DATA [4,5,7]

Fault code	Fault type	Ratio of characteristic gases		
		C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	CH ₄ /H ₂	C ₂ H ₂ /C ₂ H ₆
NP	No fault	01	01-10	01
LT*	150° C thermal fault	01	01-10	10-30
LT*	150° C-300° C thermal fault	01	10	10
MT	300° C-700° C thermal fault	01	10	10-30
HT	700° C thermal	01	10	30
LP	Low energy partial discharges	01	01	10
HP	High energy partial discharges	01-30	01	10
LJ	Low energy discharges	01-30 to 30	01-10	10-30 to 30
HJ	High energy discharges	01-30	01-10	30

Note: * the same fault code used by the TPC for the low temperature thermal fault type [8]

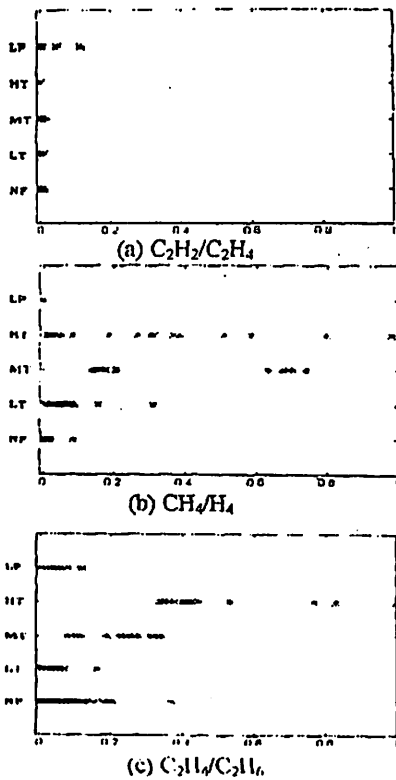


Fig. 1 Distributions of the actual diagnostic records for the five fault types shown in Table II

first five fault types (including the normal condition) in terms of the three gas ratios used by the IEC/IEEE Standards (shown in Table II) are displayed. For clarity, all the gas ratios have been normalized into [0, 1]. It is noted that solely applying the criteria specified by the IEC/IEEE Standards reaches only 72.73% recognition rate [4,12]. Apparently, valuable implicit knowledge should have been embedded in the abundant previous diagnostic data. The fact entails the development of a quantitative tool to extract the knowledge embedded so that a qualitative judgment can be made.

Described subsequently is the general scheme of a fuzzy diagnosis system to recognize a fault type according to the gas data obtained from the DGA. Then descriptions are given of how the proposed adaptive design approach to a fuzzy diagnosis system works to extract the related knowledge.

III. GENERAL FUZZY DIAGNOSIS APPROACH

Let x_1, x_2, \dots, x_m be the m attributes for classification of the possible faults. The attributes may be the gas concentrations used in the Key Gas method or the gas ratios in the Rogers Gas Ratio method. The gas data obtained from the DGA can hence be expressed as an input vector, i.e., a symptom, $x_i = [x_1, x_2, \dots, x_m]$, which is to be recognized as one of the faulted conditions.

In a fuzzy diagnosis system, the following form of if-then rule is applied:

Rule R^i :

If x_{i1} is A_1^i and x_{i2} is A_2^i and ... and x_{im} is A_m^i (1)
then x_i belongs to the fault type FT_i , with creditability CR_i ;

where R^i is the label of the i th fuzzy if-then rule, $i = 1, 2, \dots, N_R$. N_R is the total number of nominal rules:

$$N_R = \prod_{j=1}^m N_{ln}^j \quad (2)$$

where N_{ln}^j is the number of linguistic properties used to describe the j th gas attribute. $A_j^i, j = 1, 2, \dots, m$, are the linguistic properties describing the j th gas attributes in the i th rule; each A_j^i is defined by an appropriate fuzzy set. FT_i is either null or one of the fault types (NF, LT, MT, ..., and HD) as given in Table II; and CR_i is the creditability of the rule. $FT_i = \text{null}$ in the consequent of the fuzzy rule means that this rule does not apply to the input symptom data. The rule with $FT_i = \text{null}$ is called a void rule. With the fuzzy rules, the following general inference procedure [16] can be employed to infer the potential fault type.

Inference Procedure

Step 1: Compute CP_{FT_i} of the fault type FT_i for each rule $R^i, i = 1, 2, \dots, N_R$:

$$CP_{FT_i} = \mu_{i1}(x_{i1}) \cdot \mu_{i2}(x_{i2}) \cdot \dots \cdot \mu_{im}(x_{im}) \quad (3)$$

where CP_{FT_i} is the compatibility (or degree of satisfaction) of x_i to the rule R^i ; μ_{ij} is the membership function of the j th attribute, $j = 1, 2, \dots, m$, in the i th rule.

Step 2: Determine the fault type FT^* so that

$$CF_{FT^*} = \text{Max}\{CP_{FT_i} \times CR_i | FT_i, i = 1, \dots, N_R\} \quad (4)$$

where the fault type FT^* with maximum value in (4) is the conclusion of the fuzzy diagnosis system with certainty factor CF_{FT^*} . If CF_{FT^*} is equal to zero, or if two or more fault types have the maximum value, the symptom to be recognized is categorized as *not recognizable* by the fuzzy diagnosis system.

It is worth noting that setting up a fuzzy diagnosis system and accordingly extracting the knowledge embedded in the DGA diagnostic records require the definition of the fuzzy sets for the linguistic properties in the antecedent parts and the formulation of the consequent parts of the fuzzy rules. Stated in the following section is the proposed adaptive design method.

IV. THE PROPOSED METHOD

A. Fuzzy Rule Creation

Referring to the existing diagnostic criteria, like those of the Key Gas, the Rogers gas ratio, or the IEC/IEEE methods, the well-known thresholds set for the individual attributes are used as the prior knowledge of the membership functions that de-

scribe the linguistic properties of the gas attributes. As a result, the existing domain knowledge about the DGA techniques can be integrated into the diagnosis system in advance. Based on the tentative membership function and the actual diagnostic records, the succeeding rule-creation algorithm is used to achieve the consequent parts of the fuzzy rules that indicate the pertinent corresponding fault type.

Step 1: Compile the data base of the transformer diagnostic records of the utilities, including the gas contents, the diagnostic results, and the suggested transformer retest period and trace duration after the inspection.

Step 2: Referring to the attributes (key gases, gas ratio, gas generation rates, or total combustion gases) and their thresholds often employed in the DGA methods, determine the prior membership functions for each of the adopted attributes. The numbers of membership functions and their types, triangular, bell, or trapezoidal, needed for each attribute can be different.

For example, schematically shown in Fig. 2 are the four triangular membership functions describing the attribute of C_2H_4/C_2H_6 before normalization, where their corresponding boundaries, 0.1, 1.0, and 3.0, are given according to Table II. Likewise, the membership functions for the attributes of C_2H_2/C_2H_4 and CH_4/H_2 can be tentatively defined.

Step 3: Normalize the input attributes selected into an interval between zero to one inclusive.

Step 4: With respect to the i th rule, $i = 1, \dots, N_R$, calculate M_{FT} for each of the eight fault types FT 's (i.e., NF, LT, MT, ..., and HD):

$$M_{FT} = \left[\sum_{x_i \in FT} \mu_1(x_{i1}) \cdot \mu_2(x_{i2}) \cdot \dots \cdot \mu_m(x_{im}) \right] / N_{FT} \quad (5)$$

where N_{FT} is the number of cases with the fault type FT in the N ($= \sum_{FT} N_{FT}$) diagnostic records used to construct the fuzzy system; M_{FT} is the average of compatibility of $x_i \in FT$ to the rule R^i .

Step 5: Find the fault type FT^a so that

$$M_{FT^a} = \text{Max}\{M_{NF}, M_{LT}, M_{MT}, \dots, M_{HD}\} \quad (6)$$

If two or more fault types take the maximum value in (6) or if the M_{FT^a} is zero, the consequent FT_i of the rule R^i is given null.

The fact accounting for the consequent FT_i in (1) cannot be

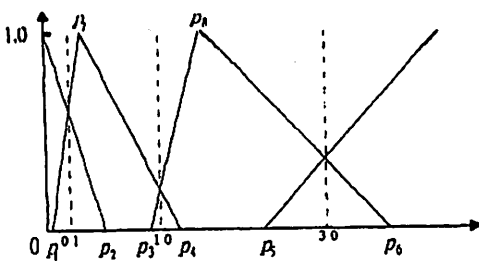


Fig. 2 Triangular membership functions

determined uniquely and, therefore, the rule R^i has no effects on the diagnosis of the fault. If only one fault type takes the maximum value in (6), FT_i is set as FT^a .

Step 6: If a single fault type takes the maximum value in (6), the creditability CR , associated with the rule R^i [16] is given by

$$CR_i = (M_{FT^a} - M) / \sum_{FT} M_{FT} \quad (7)$$

where $M = \sum_{FT \neq FT^a} M_{FT} / (F-1)$; F is the number of the fault types, equaling eight in the present study.

The set of fuzzy rules determined from the preceding fuzzy reasoning algorithm yields a preliminary fuzzy diagnosis system where the inference procedure stated in (3) and (4) can accordingly draw a diagnosis as given the data on dissolved gases. However, as described previously, the membership functions were established using the existing domain knowledge about the DGA. The resultant system is still blind to some practical situations. To achieve higher adaptive property to the actual data, at the next phase the evolutionary computation based algorithm is employed to fine-tune the membership functions of the fuzzy rules, an algorithm that is to be dwelled upon subsequently.

B. Self-Tuning of the Membership Functions

As depicted in Fig. 2, the membership functions for the linguistic properties of the attributes depend on the values of the parameters p_1, p_2, \dots , which consequently determine the performance of the diagnosis system. Posterior to setting the consequent parts of the fuzzy rules, as described in the previous subsection, the membership functions are then further tuned around the ones tentatively used through the evolutionary computation [13] based algorithm. The evolutionary computation simulates natural evolutionary process to reach the fittest individuals after repeated offspring creation, competition, and selection procedure. The evolutionary computation based algorithm is presented as follows.

Step 1 (Vector Representation): Let the parameters of the membership functions for the j th attribute be indicated as a vector $P_j = [p_{1j}, p_{2j}, \dots, p_{K_jj}]$ where K_j is the number of parameters needed to stand for the membership functions for the j th attribute, $j = 1, 2, \dots, m$; m is the number of attributes employed to recognize the dissolved gases. The m vectors $P_j, j = 1, 2, \dots, m$, are then linked into one long vector $P = [P_1, P_2, \dots, P_m]$ where P has $m \times K_j$ elements. The $m \times K_j$ parameters in the vector P lead to a set of membership functions, which constitute one particular fuzzy diagnosis system when associated with the consequent parts derived in Subsection A.

Step 2 (Fitness Calculation): Corresponding to the particular fuzzy diagnosis system formulated in Step 1, a fitness value $f(P)$ for the individual P is assigned:

$$f(P) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \langle FT_i, FT_i^a \rangle / R_{FT_i} \quad (8)$$

The operator (x, y) in (8) is equal to 1.0, if $x = y$; otherwise, to 0; and R_{FT_i} is the proportion of the fault type FT_i to the total number of training samples. The fitness function f maps $P \rightarrow R$ and denotes the true real-valued fitness (to be maximized) of the individual P to the problem.

Step 3 (Initialization): Different combinations of the elements in P are randomly generated from a reasonable range in each dimension and are evolved subsequently. The initial population for the L parent vectors is denoted as $P^l, l = 1, 2, \dots, L$. Typically, the distribution of the initial trials is uniform.

Step 4 (Creation of offspring): Each parent vector $P^l, l = 1, \dots, L$ generates an offspring vector P^{l+L} by adding a Gaussian random variation with zero mean and a standard deviation proportional to the scaled fitness value of the parent trial solution, i.e.,

$$P^{l+L} = P^l + N(0, \sigma_j^2) \tag{9}$$

where $N(0, \sigma_j^2)$ represents a vector of Gaussian random variables with mean zero and standard deviation σ_j . σ_j is given according to the following equation:

$$\sigma_j = \delta f(P^l) + Z \tag{10}$$

where $f(P^l)$ is the fitness function from (8) associated with the trial vector P^l , δ is a scaling factor, and Z represents an offset.

Since $f(P^l)$ is to be maximized, the offspring P^{l+L} is created according to the relative value of $f(P^l)$: if $f(P^l)$ is relatively low, the offspring trial solution is created near the current solution P^l ; if $f(P^l)$ is relatively high, the next trial solution will be searched within a wider range to avoid being trapped in a local minimum. Consequently, $2L$ individuals including L parents and L offspring are obtained in a competing pool.

Step 5 (Competition & Selection): Each of the $2L$ individuals must stochastically compete against the other individuals based on the fitness values, $f(P^l), l = 1, \dots, 2L$. In this process, the $2L$ individuals compete with the other randomly selected individuals for "win" based on their fitness values. The criterion for "win" of each individual is given by:

$$w_i = \sum_{j=1}^{N_m} w_j \tag{11}$$

$$w_i = 1, \text{ if } u_1 < f_i / (f_i + f_j)$$

$$= 0, \text{ otherwise}$$

where w_i is the score of the i th individuals, N_m is the number of competitors randomly selected, f_i is the fitness value of i th individual, and f_j is the fitness value of j th rival; $r = [2Lu_2 + 1]$, $[x]$ denotes the greatest integer less than or equal to x , and $u_1, u_2 \sim U(0, 1)$ are uniform random numbers ranging over $(0, 1)$.

After all individuals have undergone competition, the $2L$ individuals are then ranked in descending order of their corresponding w_i values. Then the first L individuals are selected along with their corresponding fitness values as new parents of the next generation.

Step 6 (Termination Condition): The process of generating new trials and selecting those with best fitness f values is repeated until the f values are not obviously improved or the given maximal number of generations is reached.

Accommodating the actual diagnostic results to the training data, the foregoing algorithms can yield a fuzzy diagnosis system with complete inference rules. However, some of the rules may be redundant or insignificant in the diagnostic process. To detect these rules and make the diagnosis system more condensed under the conditions of not deteriorating the recognition accuracy, a pruning scheme based on the genetic algorithm is further presented next.

C. Rule Pruning Scheme

Like the evolutionary computation [13], the genetic algorithm [15] is often used for global search based on the mechanics of natural selection and natural genetics. In the authors' experiences, the evolutionary computation directly operates on the decision variables without the need of coding the variables into binary or symbolic strings and then decoding them back. The evolutionary computation is, therefore, more suitable for the optimization problem with real-valued decision variables such as the tuning of membership functions done in the previous section. Comparatively, the genetic algorithm advantageously deals with problems containing symbolic or intrinsically binary variables. To fully exploit their characteristics, the evolutionary computation and the genetic algorithm optimization approaches are applied to the tuning of the membership functions and the pruning of the diagnostic rules, respectively, in this paper.

Basically, the genetic algorithm operators are composed of coding, reproduction, crossover, and mutation. Depending on the four operators, the following rule-pruning algorithm is applied to the fuzzy diagnosis system derived previously:

Step 1 (Coding and Decoding): In the diagnosis system derived previously, there exist N_R nominal fuzzy inference rules as given in (2), including the void rules. A symbolic string S^r of N_R elements ("1," "0," or "x") as shown in Fig 3, is correspond-

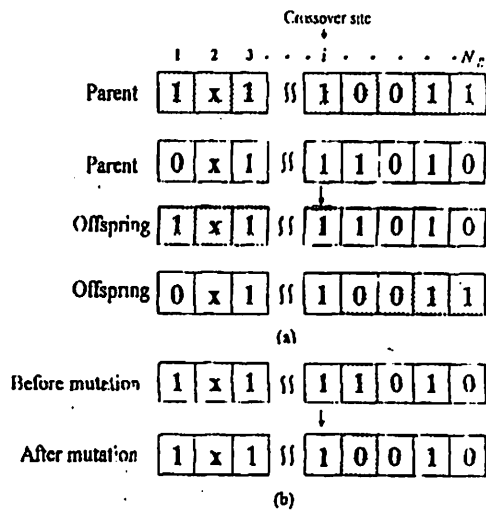


Fig. 3 (a) The crossover (b) The mutation operations

ingly given to a set of N_R fuzzy inference rules. The "1" in the i th position of the string means that the i th rule of the system is a significant one, while the "0" refers to being insignificant. The symbol "x" indicates the corresponding rule is a void one. The insignificant rules are to be pruned out of the system; only the significant ones (called useful rules) remain.

By decoding, different combinations of "1" and "0" in the strings (with the "x" fixed) lead to the fuzzy diagnosis systems with different inference rules specified by the binary bits. The optimal diagnosis system is the one with the highest fitness function that is defined as follows:

$$f'(S^k) = W_{Rec} \times Rec^k - W_{Rule} \times N_R^k / N_R \quad (12)$$

where $f'(S^k)$ is the fitness function of the k th individual string S^k to the optimal rule-pruning problem; Rec^k is the recognition rate (in percentage) of the k th-string-corresponding diagnosis system; W_{Rec} and W_{Rule} are the weight values for the recognition rate and the number of the useful rules, respectively. N_R^k is the number of useful rules (i. e., number of "1" in the k th string). Generally, W_{Rec} is much larger than W_{Rule} , indicating the recognition rate is most concerned.

Step 2 (Initialization): The defined binary string S^k is an individual of a population S^k , $k = 1, 2, \dots, G$, that are undergoing evolution. G is the size of population. The initial population of G strings is randomly created. In the strings, the "1" and "0" can be generated with different probabilities. Higher probability of creating the "1" means the stronger tendency toward preserving the associated rules. In this paper, equal probabilities (0.5) were assigned. After evaluating the fitness value of the individuals in the population, the algorithm performs the subsequent genetic operations, i. e., reproduction, crossover, and mutation to evolve the population.

Step 3 (Reproduction): The reproduction is an operation by which individuals within the population are picked up to generate offspring via crossover and mutation operations. The criterion to choose the individuals is based on their fitness values; i. e., the probability of selecting the individual S^k , $Pr(S^k)$, into the mating pool is according to:

$$Pr(S^k) = f'(S^k) / \sum_{j=1}^G f'(S^j) \quad (13)$$

Step 4 (Crossover): For a pair of parents selected at random from the population, the crossover operation divides two strings of bits into segments by setting a crossover site randomly. The segments of bits from the parents behind the crossover site are exchanged with each other to generate their offspring (as shown in Fig. 3(a)). The crossover operation is performed in conformity with a given crossover probability (Pr_{cr}).

Step 5 (Mutation): To prevent the premature stopping of the algorithm that leads to almost the same individuals within a population after a number of generations, the mutation operation is inevitable. For each bit of the offspring, the mutation operator randomly inverts a "1" to a "0," or vice versa (Fig. 3(b)), according to a given mutation probability (Pr_{mu}).

Step 6 (Termination Condition): The pre-set maximal number of generations is employed as the stopping condition of the

algorithm.

V. NUMERICAL TESTS AND DISCUSSIONS

The proposed evolution enhanced adaptive fuzzy transformer diagnosis system has been implemented according to the actual gas records collected from the TPC 69kV transformers. Associated with their real fault types, total 561 numerical samples from 156 transformers were composed. Through diverse DGA methods, the real fault types of these samples had been identified by the TPC transformer diagnosis experts.

Due to lack of practical samples of the high energy partial discharge, the low and the high energy discharge faults (codes of HP, LD, and HD in Table I) in the collected numerical data, the corresponding training samples in setting up the system were generated by using the Monte Carlo simulation techniques [17]. The simulated training data on the gas ratios were produced utilizing uniformly-random-number generator over the respective intervals specified in Table I. The three sets of simulated data were incorporated into the collected practical gas ratio records. The composition of the total 711 training samples for the eight types of transformer faults is given in Table III.

The proposed method was developed on a PC-586 computer in Turbo C programming language. Table IV displays the parameter setting of the evolutionary computation and genetic algorithm in tuning the membership functions and pruning the fuzzy rules. For reason of comparison, the existing multilayered ANNs classification approach [9,10] and the previous fuzzy diagnosis system [12] were applied to the same numerical data base. The results obtained were compared in the aspects of

TABLE III
COMPOSITION OF THE TRAINING DATA

Fault type	No. of training samples	Fault code
No fault	380	NF
Low temp. thermal fault 300 ^o C	45	LT
Medium temp. thermal fault 300 ^o - 700 ^o C	46	MT
High temp. thermal fault 700 ^o C	42	HT
Low energy partial discharge	48	LP
High energy partial discharge	50*	HP
Low energy discharge	50*	LD
High energy discharge	50*	HD
Total	711	

*simulated data

TABLE IV
PARAMETER SETTING OF THE EVOLUTIONARY COMPUTATION AND GENETIC ALGORITHM

Parameters	Methods	
	Evolutionary computation	Genetic algorithm
Population size	30	30
Max. No. of generations	50	30
Scaling factor (δ)	0.5	---
Offset (Z)	0.2	---
Crossover probability (Pr_{cr})	---	0.8
Mutation probability (Pr_{mu})	---	0.01

learning and generalization abilities from the practical cases.

A. Learning Ability Tests

In the present investigation, the three commonly used gas ratios [4,5,7], C_2H_2/C_2H_4 , CH_4/H_2 , C_2H_4/C_2H_6 , are chosen as the input features ($m = 3$) to classify the fault conditions of the transformers. Four linguistic properties ($N'_{ln} = 4$, for $j = 1, 2, 3$) were first employed to describe the characteristics of each input feature of gas ratio. To each of the linguistic property, triangular membership functions (as shown in Fig. 2) were given. Corresponding to the three-stage construction procedures outlined in Sec. IV, A. fuzzy rule creation, B. self-tuning of the membership function, and C. rule pruning scheme, the performance of diagnosis system in respective stages is displayed in Table V.

As noted in Table V, using the fuzzy rule creation algorithm, the preliminary diagnosis system contains the full-scale 64 ($4 \times 4 \times 4$, four linguistic properties for three input features) nominal rules without the void ones. However, the system just reaches a recognition rate of 76.09%. The rate is slightly higher than 72.73% from the existing classification criteria given in the IEC/IEEE Guides [4,5,7], which were used as the initial values of the fuzzy rule creation algorithm.

Further relying on the self-tuning of the membership functions greatly upgrades the recognition rate from 76.09% to 96.2%. Though the system still has 64 rules, the effectiveness of the membership function tuning algorithm has been exhibited. Posterior to tuning the membership functions, in the final stage the rule-pruning scheme serves to make the diagnosis system more compact with the relative weight values of $W_{rec} = 0.8$ and $W_{rule} = 0.2$. The fuzzy system finally contains only 23 rules. With much less number of useful rules for same recognition rate, new diagnosis knowledge can, therefore, be more easily extracted from the existing data.

To further investigate the influences of fuzzy parameter settings on the performance of the diagnosis system, distinct membership functions (bell and trapezoid shapes, as depicted in Fig. 4) from the triangular ones were adopted. Also, the number of linguistic properties for each input feature was varied from 2 to 5. Table VI shows the results of different fuzzy parameter settings. In the table, the associated numbers of decision variables to be determined in each case and the corresponding training times needed are listed as well.

The results reveal that the triangular membership functions achieve better diagnosis outcome (96.2%) than those achieved by the other two functions (91.7% and 90.58%). Moreover,

TABLE V
RECOGNITION RATES IN RESPECTIVE STAGES

Stages*	No. of rules	Recognition rate (%)	Training time (sec.)
A	64	76.09	5
A and B	64	96.2	112
A, B, and C	23	96.2	234

*A: fuzzy rule creation, B: self-tuning of the membership function, and C: rule pruning scheme

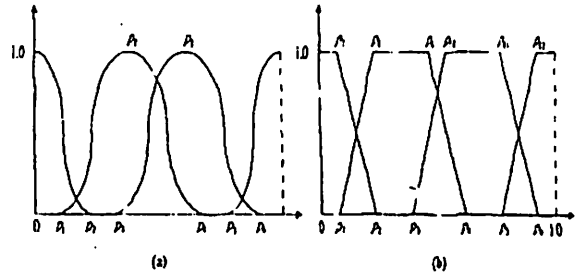


Fig. 4 Membership functions of (a) bell and (b) trapezoid shapes

although the number of decision variables to be determined in the system with the trapezoidal membership functions is largest (so needing more training time), the performance is not the best. With the increase of the number (from 2 to 5) of linguistic properties describing each input feature, the recognition rate improves. However, too detailed description of the input features (more than 4 properties) deteriorates the results from 96.2% (4 properties) to 91.14% (5 ones).

Listed in Table VII are the comparison results of the proposed method, the previous fuzzy diagnosis system [12], and the ANNs method [9,10]. As exhibited in this Table, the proposed method achieves the diagnosis recognition rate of 96.2%, which was much higher than 80.59% of the ANNs and higher than 88.06% of the previous approach. Moreover, the training time, the time needed to establish the diagnosis system, of the proposed method (234 sec.) was far less than that spent by the ANNs (1,244 sec.) and lower than that required by the previous fuzzy system (261 sec.). Although the diagnosis system is trained off-line, the training time is not a critical point to be evaluated. It is an index, however, implying in some degree the efficiency of the algorithm developed.

TABLE VI
RECOGNITION RATES OF DIFFERENT MEMBERSHIP FUNCTIONS AND NUMBERS OF LINGUISTIC PROPERTIES

	Membership functions			
	Triangle	Bell	Trapezoid	
Recognition rate (%)	96.2	91.7	90.58	
No. of decision variables	24	24	36	
Training Time (sec.)	234	241	268	
	No. of linguistic properties*			
	2	3	4	5
Recognition rate (%)	61.74	80.87	96.2	91.14
No. of decision variables	6	15	24	33
Training time (sec.)	189	215	234	265

*Using triangular membership functions

TABLE VII
RECOGNITION RATE COMPARISONS OF THE PROPOSED, THE PREVIOUS, AND THE ANNs APPROACHES FOR THE TRAINING DATA BASE

Methods	Recognition rate (%)	Training time (sec.)
The Proposed	96.2	234
The Previous	88.06	261
The ANNs	80.59	1,244

Generalization Ability Tests

The performance of a fault diagnosis system should not only be limited to the ability of learning from the training samples, but also to the capabilities of generalization of the cases learned to those not presented. The generalization abilities of the diagnosis systems were assessed from the tests of ten-fold cross validation, the amount of training data needed, and the error containing

Results of Ten-fold Cross Validation

To test the effectiveness of the developed fuzzy diagnosis system on the new cases that had never been presented to the system, the data set used was divided into ten sets. For each fault type, approximately equal number of samples was given to each set. In the tests, the samples from nine sets of the ten were used as the training data, and the samples from the remaining one set as the testing data, which were presented to the diagnosis system after training to evaluate its recognition rate. In turn, each of the ten was used as a testing set. Totally, ten processes of training and testing were conducted, the recognition rates of which were recorded.

Listed in Table VIII is the average recognition rates of the ten-fold cross validation for the eight fault types, respectively. The results reveal that, on the whole, the recognition rates of the testing data (with the average of 94.92%), which were never presented to the trained system, achieved higher rates than that of the training data (with the average of 93.88%). The fact can be concluded that the diagnosis system possesses the basic capabilities of generalization of the learnt cases to the brand-new ones.

Results of the Amount of Training Data Needed

The tests were aimed at evaluating the performance of the diagnosis system as different amounts of the training data provided. The data base used above was randomly divided into the training set and the testing set, each with various proportions. Four scenarios were evaluated in the tests. In each scenario, the proportion of the number of training data to that of the testing data was different, ranging from 20%/80% to 80%/20%, as shown in Table IX.

As benchmarks of comparison, the previous [12] and the ANNs diagnosis systems [9,10] were also applied to these testing scenarios. The results are shown in Table IX. It is noted that as the percentage of the training data decreases, the corresponding recognition rates also decline in all the three diagnosis systems.

In all the testing scenarios, the proposed method has significantly higher recognition rates than the other two systems. Even when the percentage of the training data was reduced to only 20%, the recognition rate still reached 91.3%. The results further point out the generalization abilities of the proposed method with a relatively low rate of training samples to the untrained cases.

TABLE VIII
RESULTS OF TEN-FOLD CROSS VALIDATION

Fault code	Recognition rate of training data (%)	Recognition rate of testing data (%)
NF	96.67	97.37
LT	84.25	86.5
MT	90.18	93
IT	94.15	100
LP	81.08	81.5
HP	92.17	96
LD	92.45	94
HD	100	100
Average	93.88	94.92

TABLE IX
DIAGNOSIS PERFORMANCE OF THE PROPOSED, THE PREVIOUS, AND THE ANNS APPROACHES FOR DIVERSE TRAINING AND TESTING DATA SETS

Scenario	Training data (%)	Testing data (%)	Recognition rate (%)		
			Proposed	Previous	ANNs
I	20	80	91.30	82.27	77.06
II	40	60	92.27	84.82	78.93
III	60	40	93.31	86.57	79.46
IV	80	20	96.48	89.12	80.36

TABLE X
DIAGNOSIS PERFORMANCE OF THE PROPOSED, THE PREVIOUS, AND THE ANNS APPROACHES WITH DIFFERENT PERCENTAGES OF ERRORS ADDED

Percentage of errors	Recognition rate (%)		
	Proposed	Previous	ANNs
-5%~+5%	94.37	88.28	80.45
-10%~+10%	92.97	87.14	80.17
-20%~+20%	89.03	85.78	79.32

Tests of Error-containing Data

As described previously, the gas data used for the DGA would unavoidably contain some amounts of errors or uncertainties. They result from diverse factors, such as different gas-generating locations due to some kind of fault, variation of gas solubility arising from distinct surroundings, and mistakes or inaccuracy inherently existing in the oil-sampling, the gas extracting, and the chromatography processes. To take into account the errors and uncertainties contained in the data collected for the DGA process, sets of the testing data in this paper were created by adding $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, and $\pm 20\%$ random uniform-distributed samples to the training data to appraise the fault-tolerant abilities of the proposed diagnosis systems.

The test results using different amounts of errors added are given in Table X for the three diagnosis systems. The error-containing data indeed deteriorate the recognition capabilities in proportion to the amounts of errors added. This table shows that the three diagnosis systems all bear remarkable tolerance to the errors contained in the data. Although the proposed system still owns the highest recognition rates in all the cases, the ANNs and the previous fuzzy diagnosis systems have somewhat better tolerance from a relative point of view.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

VI. CONCLUSIONS

A new adaptive fuzzy approach for the transformer fault diagnosis has been proposed and implemented in this paper in an attempt to improve the present DGA methods. The proposed new fuzzy diagnosis system features a different fuzzy reasoning algorithm originating from the existing DGA interpretative criteria, and the evolution enhanced tuning of the fuzzy membership functions as well as rule-pruning schemes for more compact diagnosis systems. The compact rule base of the developed fuzzy system would initiate the possibilities of giving rise to a new domain knowledge of DGA.

The proposed approach has been extensively tested on the practical gas records collected from the TPC. Different numbers of linguistic properties for each gas attribute, and three types of membership functions that are frequently used were evaluated. As concerns the current data base, better results were found from the system with four linguistic properties and triangular membership functions for the gas-ratio attributes. In addition, from either the tests of learning abilities or the tests of generalizing the learnt samples to the new untrained cases, superior performance of the proposed system to that of the previous fuzzy system and the ANNs approaches has been exhibited.

Due to the voluminous practical DGA records existing for the power transformers, an efficient intelligent diagnosis system that can learn automatically from the knowledge-embedded numerical data base is continuously pursued by the utilities. The capabilities of the method proposed in this paper have been verified and can provide one of such urgently desired diagnosis systems. Nevertheless, it must be recognized that the interpretation of dissolved gas-in-oil data is not entirely scientific, but somewhat of an art. The other techniques for diagnosing the incipient faults are still needed to complement the DGA methods.

VII. ACKNOWLEDGMENTS

The authors are greatly indebted to the engineers of the Taiwan Power Company for their providing the valuable test data and supporting the tests of the diagnosis system. Financial supports from the National Science Council, Taiwan, R.O.C. under the Grant No. NSC-87-2213-E-033-018 are acknowledged.

VIII. REFERENCES

- [1] P.S. Pugh and H.H. Wagner, "Detection of incipient faults in transformer by gas analysis," *IEEE Transaction*, Vol. 80, pp. 189-195, 1961.
- [2] J.J. Kelly, "Transformer fault diagnosis by dissolved-gas analysis," *IEEE Trans. on IA*, Vol. 16, No. 6, pp. 777-782, 1980.
- [3] E. Dornenburg, and W. Stritmatter, "Monitoring oil cooling transformers by gas analysis," *Brown Boveri Review*, 61, pp. 238-274, 1974.
- [4] R.R. Rogers, "IEEE and IEC codes to interpret incipient faults in transformers, using gas in oil analysis," *IEEE Trans. on EI*, Vol. 13, No. 5, pp. 348-354, 1978.
- [5] IEC Publication 599, *Interpretation of the analysis of gases in transformers and other oil-filled electrical equipment in service*, First Edition, 1978.
- [6] M. Duval, "Dissolved gas analysis: It can save your transformer," *IEEE*

- Electrical Insulation Magazine*, Vol. 5, No. 6, pp. 22-27, 1989.
- [7] ANSI/IEEE, "C57.104-1991, IEEE guide for the interpretation of gases generated in oil-immersed transformers," *IEEE Power Engineering Society*, 1992.
- [8] W.Y. Chang, et al., "Expert system for transformer faults diagnosis," *Monthly Journal of Taipower's Engineering*, No. 551, pp. 71-86, July 1994 (in Chinese).
- [9] J.J. Dukarm, "Transformer oil diagnosis using fuzzy logic and neural networks," *1993 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, Vol. 1, pp. 329-332.
- [10] Y. Zhang, X. Ding, Y. Liu and P.J. Griffin, "An artificial neural network approach to transformer fault diagnosis," present at the *IEEE/PES 1996 Winter Meeting*, Baltimore, Maryland, U.S.A., Paper No. 96 WM 225-3 PWRD, Jan. 1996.
- [11] C.E. Lin, J.M. Ling and C.L. Huang, "An expert system for transformer fault diagnosis and maintenance using dissolved gas analysis," *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 8, No. 1, pp. 231-238, 1993.
- [12] Y.C. Huang, H.T. Yang and C.L. Huang, "Developing a new transformer fault diagnosis system through evolutionary fuzzy logic," *IEEE Trans. on PWRD*, Vol. 12, No. 2, pp. 761-767, 1997.
- [13] D.B. Fogel, *System Identification through Simulated Evolution: A Machine Learning Approach to Modelling*, Ginn Press, Needham, MA, 1991.
- [14] D.B. Fogel, "An introduction to simulated evolutionary optimization," *IEEE Trans. on Neural Networks*, Vol. 5, No. 1, pp. 3-14, 1994.
- [15] D.E. Goldberg, *Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [16] H. Ishibuchi, K. Nozaki, N. Yamamoto, and H. Tanaka, "Selecting fuzzy if-then rules for classification problems using genetic algorithms," *IEEE Trans. on Fuzzy Systems*, Vol. 3, No. 3, pp. 260-270, 1995.
- [17] R.Y. Rubinstein, *Simulation and the Monte Carlo Method*, John Wiley & Sons, 1981.



Hong-Tzer Yang was born in Tainan, Taiwan on March 19, 1960. He received the B.S. and M.S. degrees from National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan in 1982 and 1984, respectively, and received his Ph.D. degree from National Tsing-Hua University, Hsin-Chu, Taiwan in 1989, all in electrical engineering. He was a senior specialist during 1989-1992 and was a technical superintendent during 1993-1995 at the Chung Shan Institute of Science and Technology, where he developed an artificial intelligence based target identification system and a real-time hardware-in-the-loop simulation system. Since 1995, he has been an associate professor at the Department of Electrical Engineering, Chung Yuan Christian University. His present researches are on neural networks, evolutionary computing, and fuzzy expert system applications in power systems. Dr. Yang is a member of Phi Tau Phi, and the IEEE PES and CSS. He is also listed in *Who's Who in the World*.



Chiung-Chou Liao was born in Yung-Lin, Taiwan on Oct. 6, 1973. He received his B.S. degree from the Department of Electrical Engineering at Chung Yuan Christian University (CYCU), Chung-Li, Taiwan in 1996, where, currently, he is working toward his M.S.E.E degree. He is also a research assistant of the project directed by Dr. H.T. Yang. His present research interests are in fault diagnosis of power apparatus using artificial intelligence techniques.