

**PENGESANAN KEROSAKAN BAHAN PENEBAT TRANSFORMER DENGAN
MENGUNAKAN RANGKAIAN NEURAL BUATAN**

Oleh

Suzita Binti Che Osman

Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia

Mei 2006

ABSTRAK

Kertas kerja ini memperkenalkan penggunaan kecerdasan buatan (KB) untuk mengesan kerosakan bagi transformer. Teknik KB meliputi rangkaian neural buatan (RNB), sistem mahir, sistem fuzzy dan sebagainya. Pengesanan kerosakan adalah berdasarkan kepada analisis gas terlarut dalam minyak (AGT). Beberapa gas yang terbentuk semasa kerosakan transformer ialah H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 dan C_2H_2 . Kerosakan bagi gas-gas tersebut dibahagikan kepada tiga kategori iaitu korona atau nyahcas separa, kepanasan termal dan pengorkaan. Beberapa kaedah untuk mengesan kerosakan yang lazim ialah kaedah nisbah (Rogers, Dornenburg and IEC) dan kaedah gas kunci. Beberapa teknik KB dapat membantu menyelesaikan masalah dan memberikan penyelesaian yang lebih baik. Untuk projek ini, sistem RNB yang direkabentuk ialah perceptron berbilang lapisan (MLP). Data yang digunakan mempunyai 41 data sampel dan data tersebut dibahagikan kepada dua bahagian iaitu set data latihan dan set data pengujian. Jumlah sampel latihan dan ujian masing-masing ialah 21 dan 20. Penggunaan rangkaian neural dapat menentukan jenis kerosakan bagi transformer melalui pembelajaran yang dilakukan. Perisian Matlab7 digunakan untuk mengimplementasi rangkaian MLP. Tiga jenis algoritma pembelajaran dipilih untuk melatih rangkaian MLP iaitu Levenberg-Marquardt, 'resilient backpropagation' dan algoritma 'Bayesian regularization'. Proses latihan dimulakan terlebih dahulu sebelum membuat proses pengujian. Proses pengujian dilakukan untuk melihat sejauh mana kebolehan sistem RNB dalam menentukan kerosakan bagi transformer bergantung kepada nilai gas yang terlarut dalam minyak. Daripada keputusan yang diperolehi, algoritma 'resilient backpropagation' memberikan nilai peratus kejituan yang paling tinggi (91.75%) berbanding algoritma Levenberg-Marquardt (89%) dan 'Bayesian regularization' (85.75%). Keputusan yang diperolehi menunjukkan rangkaian MLP mempunyai keupayaan yang tinggi untuk mengesan kerosakan bahan penebat bagi transformer.

ABSTRACT

TRANSFORMER INSULATION FAULT DETECTION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

This paper is about a study of artificial intelligence (AI) applications for determination of transformer faults. The AI techniques include artificial neural networks (ANN), expert system, fuzzy systems and multivariate regression. The faults detection is based on dissolved gas-in-oil analysis (DGA). Several gases are formed during transformer faults. These are H_2 , O_2 , N_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 and C_2H_2 . The causes of fault gases can be divided into three categories; corona or partial discharge, pyrolysis or thermal heating and arcing. A literature review showed that conventional fault diagnosis method, i.e. the ratio methods (Rogers, Dornenburg and IEC) and the key gas method. Various AI techniques may help to solve the problems and provide a better solution. A multilayer perceptron (MLP) is the choice among several neural network architectures that is used in this study. A three layer neural network has been used throughout this study. The data consists of 41 gas samples are divided into two sets: a set of 21 samples for training phase and the remaining 20 samples are used to test for the validity and applicability of the ANN approach. Neural network can define the transformer fault through the learning process. Matlab7 is used to design the multilayer perceptron (MLP). Three types of learning algorithm are used in this project to train the MLP network, which are resilient backpropagation, Bayesian regularization and Levenberg-Marquardt. From the result, resilient backpropagation algorithm gives the highest percentage of accuracy (91.75%) compared to Levenberg-Marquardt (89%) and Bayesian regularization (85.75%). The results proved that the MLP network has high capability to detect transformer insulation fault.

PENGHARGAAN

Assalamualaikum w.b.t.

Alhamdulillah, syukur ke hadrat Ilahi kerana dengan kurniaNya, akhirnya saya dapat menyiapkan projek tahun akhir ini dengan jayanya dalam tempoh yang telah di tetapkan.

Ucapan jutaan terima kasih saya tujukan kepada penyelia projek iaitu Dr. Nor Ashidi Mat Isa di atas segala dorongan dan bimbingan beliau sepanjang tempoh projek ini dijalankan. Tidak juga dilupakan kepada Dr. Junita Mohamed Salleh di atas tunjuk ajar beliau dari mula projek ini dijalankan sehinggalah projek ini dapat direalisasikan.

Ucapan terima kasih juga kepada keluarga tersayang yang telah banyak memberikan sokongan dan semangat supaya berusaha dengan gigih dalam setiap kerja yang dilakukan. Tidak lupa juga kepada rakan-rakan yang turut sama membantu dalam menyelesaikan segala bentuk masalah yang dihadapi.

Akhir kata daripada saya, terima kasih sekali lagi kepada semua pihak yang membantu secara langsung atau tidak langsung dalam menyiapkan projek ini.

Terima kasih.

ISI KANDUNGAN

Muka Surat

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PENGHARGAAN	iii
SENARAI JADUAL	vii
SENARAI RAJAH	viii
SINGKATAN	ix

BAB 1: Pengenalan

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Pengesanan Kerosakan Transformer	1
1.3 Objektif	3
1.4 Skop Projek	3
1.5 Panduan Laporan Projek	4

BAB 2: Pengesanan Kerosakan Bahan Penebat Berdasarkan Analisis Gas Terlarut

2.1 Pendahuluan	5
2.2 Ciri-ciri Gas bagi Kerosakan Transformer	5
2.3 Kerosakan Transformer.....	8
2.4 Pengesanan Kerosakan Menggunakan Kaedah Nisbah	10
2.5 Pengesanan Kerosakan Menggunakan Kaedah Gas Kunci	14
2.6 Pengesanan Kerosakan Menggunakan Kaedah Kecerdikan Buatan	15
2.7 Ringkasan	16

BAB 3: Pengesanan Kerosakan Transformer Menggunakan Rangkaian Neural

3.1	Pendahuluan	17
3.2	Rangkaian Neural	17
3.3	Rangkaian Neural Perceptron Berbilang Lapisan	18
3.3.1	Penentuan Bilangan Neuron	19
3.3.2	Fungsi Pindah	20
3.3.3	Algoritma Latihan Perceptron Berbilang Lapisan	22
3.3	Latihan dan Pengujian RNB	25
3.4	Ringkasan	26

BAB 4: Kaedah Implementasi

4.1	Pendahuluan	27
4.2	Senibina MLP	27
4.2.1	Fungsi Pindah	28
4.2.2	Algoritma Pembelajaran	28
4.2.2.1	Algoritma ‘Levenberg-Marquardt’	29
4.2.2.2	Algoritma ‘Resilient Backpropagation’	30
4.2.2.3	Algoritma ‘Bayesian Regularization’	30
4.2.3	Analisa Struktur Optimum Rangkaian MLP	30
4.2.3.1	Penentuan Lelaran Optimum	31
4.2.3.2	Penentuan Nod Tersembunyi Optimum	31
4.3	Ringkasan	31

BAB 5: Keputusan

5.1	Pendahuluan	32
5.2	Pemilihan Lelaran dan Nod Tersembunyi	32
5.2.1	Algoritma ‘Levenberg-Marquardt’ (LM).....	32
5.2.2	Algoritma ‘Resilient Backpropagation’ (RP)	35
5.2.3	Algoritma ‘Bayesian Regularization’ (BR).....	37
5.3	Perbandingan di antara Jenis Algoritma yang digunakan	40
5.4	Ringkasan	41

BAB 6: Kesimpulan

6.1 Kesimpulan 42
6.2 Cadangan42

RUJUKAN

LAMPIRAN A: Peratus Kejitaan bagi Setiap Nod Tersembunyi bagi Tiga Algoritma

LAMPIRAN B: Cadangan Penyenggaraan bagi Bahan Penebat Transformer

SENARAI JADUAL

	Muka Surat
Jadual 2.1: Gas-gas Hidrokarbon dan Hidrogen	7
Jadual 2.2: Gas-gas Karbon Oksida	7
Jadual 2.3: Gas-gas yang Tidak Menyebabkan Kerosakan	7
Jadual 2.4: Gas-gas yang Terlibat dalam Setiap Jenis Kerosakan	8
Jadual 2.5: Perkaitan di antara Kerosakan Transformer dengan Penyebabnya	9
Jadual 2.6: Definisi Nisbah bagi Kaedah Nisbah	10
Jadual 2.7: Kaedah Nisbah Dornenburg	11
Jadual 2.8: Had L1 Dornenburg	11
Jadual 2.9: Jadual Diagnosis Sebenar untuk Kaedah Nisbah Rogers	12
Jadual 2.10: Definisi Kod bagi Kaedah Nisbah Rogers	12
Jadual 2.11: Diagnosis Kaedah Nisbah Rogers	13
Jadual 2.12: Kriteria Pengesanan Kaedah Kunci Gas	14
Jadual 3.1: Jenis-jenis Algoritma Latihan.....	24

SENARAI RAJAH

Muka Surat

Rajah 1.1: Transformer Pengagihan	2
Rajah 2.1: Hubungan Gas dan Suhu	6
Rajah 2.2: Gas Kunci untuk Kerosakan yang Berbeza	15
Rajah 3.1: Komponen Asas Neuron Biologi	18
Rajah 3.2: Topologi MLP Dua Lapisan Tersembunyi	18
Rajah 3.3: Fungsi Pindah Had Tetap	20
Rajah 3.4: Fungsi Pindah Had Tetap Simetri	20
Rajah 3.5: Fungsi Pindah Linear	21
Rajah 3.6: Fungsi Pindah Log-Sigmoid.	21
Rajah 3.7: Fungsi Pindah Tan-Sigmoid.	21
Rajah 4.1: Masukan dan Keluaran RNB	28
Rajah 5.1: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses Latihan (LM).....	33
Rajah 5.2: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses Pengujian (LM).....	33
Rajah 5.3: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Latihan (LM)....	34
Rajah 5.4: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Pengujian (LM)..	34
Rajah 5.5: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses Latihan (RP).....	35
Rajah 5.6: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses Pengujian (RP).....	36
Rajah 5.7: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Latihan (RP).....	36
Rajah 5.8: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Pengujian (RP)....	37
Rajah 5.9: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses latihan (BR).....	38
Rajah 5.10: Graf Peratus Kejituan Lawan Lelaran bagi Proses Pengujian (BR).....	38
Rajah 5.11: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Latihan (BR)....	39
Rajah 5.12: Graf Peratus Kejituan Lawan Nod Tersembunyi bagi Proses Pengujian (BR).	39
Rajah 5.13: Graf Peratus Kejituan bagi 3 Jenis Algoritma yang Digunakan	40

SINGKATAN

AGT	Analisa Gas Terlarut
BR	Algoritma 'Bayesian Regularization'
CH ₄	Methane
C ₂ H ₂	Acetylene
C ₂ H ₄	Ethylene
C ₂ H ₆	Ethane
CO	Karbon monoksida
CO ₂	Karbon dioksida
H ₂	Hidrogen
JGB	Jumlah Gas Boleh Bakar
KB	Kecerdikan Buatan
L1	Aras Kritikal Gas dalam Minyak untuk Keadaan Tak Normal
LM	Algoritma Levenberg-Marquardt
LTC	Penukar Tap Beban
LVQ	Rangkaian pengkuantuman vektor pembelajaran
MLP	Perceptron berbilang lapisan
N ₂	Nitrogen
NS	Nyahcas separa
O ₂	Oksigen
R1	Nisbah CH ₄ /H ₂
R2	Nisbah C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄
R3	Nisbah C ₂ H ₂ /CH ₄
R4	Nisbah C ₂ H ₆ /C ₂ H ₂
R5	Nisbah C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆
RB	Rangkaian asas jejarian
RN	Rangkaian Neural
RNB	Rangkaian Neural Buatan
RP	Algoritma 'Resilient back propagation'

BAB 1

PENGENALAN

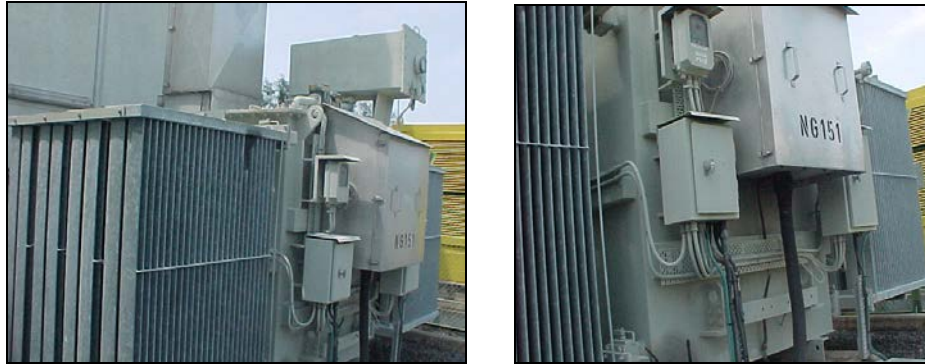
1.1 Pendahuluan

Bab ini menerangkan tentang pengesanan kerosakan bagi transformer dan juga kaedah untuk mengesan kerosakan. Objektif bagi projek yang telah dijalankan iaitu pengesanan kerosakan transformer dengan menggunakan rangkaian neural juga dimasukkan dalam bab ini. Selain itu bab ini juga memberikan skop dan panduan keseluruhan laporan projek ini.

1.2 Pengesanan Kerosakan Transformer

Transformer ialah peralatan sistem kuasa yang utama. Ianya digunakan untuk melangkah naik atau melangkah turun voltan. Rajah 1.1 menunjukkan transformer pengagihan. Transformer dapat menyelesaikan masalah penghantaran kuasa daripada loji kuasa kepada pengguna. Peralatan elektrik ini membenarkan penukaran parameter yang berkaitan dengan kuasa (voltan dan arus) di antara sumber dan talian. Transformer kuasa memainkan peranan yang penting dalam sistem kuasa. Kerosakan dalam transformer pengagihan boleh menyebabkan rumah kehilangan sumber tenaga elektrik dan kerosakan transformer langkah naik untuk loji penjanaan kuasa pula boleh menyebabkan unit penjanaan yang lain tertutup [Zhenyuang, 2000].

Di bawah polisi sistem elektrik, setiap pembekal kuasa mencuba untuk mengurangkan kos dan mencegah kehilangan kuasa yang banyak. Pembaikan dan penggantian peralatan memerlukan kos yang sangat tinggi. Ujian pencegahan memberi kebaikan dalam meramalkan kerosakan awal bagi transformer [Zhenyuang, 2000].



Rajah 1.1: Transformer Pengagihan

Masalah utama kerosakan dalam transformer ialah ia boleh mengurangkan keutuhan elektrik dan mekanikal sistem penepatan. Ujian bagi penepatan transformer ialah jenis dalam talian (on-line) iaitu nyahcas separa (NS) dan analisis gas terlarut dalam minyak (AGT). Ujian atas talian ini juga merupakan kaedah untuk mengesan kerosakan yang utama [Zhenyuang, 2000].

Teknik yang berkesan untuk pengesanan kerosakan atas talian ialah analisis gas terlarut dalam minyak (AGT). *Dalam talian* bermaksud transformer tidak perlu untuk dinyah-tenaga [Zhenyuang, 2000]. Kaedah atau teknik analisis gas terlarut ini digunakan secara menyeluruh untuk mentaksirkan gas terlarut yang di sebabkan oleh kemerosotan bahan penepat bagi minyak transformer [Huang, 2002]. AGT telah dipraktikkan selama kira-kira tiga puluh tahun yang lalu dan didapati ianya merupakan teknik yang berkesan berbanding daripada teknik-teknik yang lain. Keberkesanan teknik ini adalah kerana pengumpulan minyak dan kaedah analisisnya yang ringkas dan tidak mahal. Gas-gas utama yang dikenalpasti ialah hidrogen (H_2), methane (CH_4), ethane (C_2H_6), ethylene (C_2H_4), acetylene (C_2H_2), karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO_2) [Huang, 2002],[Zhenyuang, 2000]. Teknik AGT boleh menentukan keadaan sesuatu transformer berdasarkan kepada kepekatan gas terlarut, kadar penjanaannya, nisbah gas tertentu dan jumlah gas boleh bakar yang dikesan daripada pengumpulan dan pengujian minyak penepat transformer. Diagnosis sebenar juga mesti mengambil kira maklumat lain yang berkaitan dengan keadaan gas terlarut dalam alatubah seperti pengilang, saiz transformer, kepekatan minyak, sejarah bebanan dan faktor persekitaran [Huang, 2002].

1.3 Objektif

Projek ini adalah untuk mengesan jenis kerosakan bagi transformer bergantung kepada kandungan gas yang terlarut dalam minyak dengan menggunakan rangkaian neural. Objektif yang ingin dicapai dalam projek ini ialah:

1. Mengesan kerosakan transformer berdasarkan analisis gas terlarut.
2. Mengkaji keberkesanan rangkaian neural dalam menentukan kerosakan bahan penebat bagi transformer.
3. Memahami teori dan aplikasi bagi sistem rangkaian neural.
4. Menguasai kemahiran dalam menggunakan perisian Matlab.

1.4 Skop Projek

Tujuan utama projek ini adalah untuk membangunkan rangkaian neural untuk mengesan kerosakan dalam transformer iaitu dengan menggunakan perceptron berbilang lapisan (Multilayer Perceptron, MLP). Data yang digunakan untuk projek ini terdiri daripada 41 data sampel yang dibahagikan kepada dua proses iaitu 21 data untuk proses latihan dan 20 data untuk proses pengujian. Rangkaian neural yang dibina mempunyai 6 masukan dan 4 keluaran. Masukan adalah terdiri daripada beberapa jenis gas yang terlarut dalam minyak yang membolehkan kerosakan dalam suatu transformer dikesan. Gas-gas tersebut ialah hidrogen (H_2), methane (CH_4), ethane (C_2H_6), ethylene (C_2H_4), acetylene (C_2H_2) dan jumlah gas boleh bakar. Keluaran bagi rangkaian neural yang dibina ialah jenis kerosakan iaitu nyahcas, termal, keadaan normal dan juga kerosakan yang tidak dapat dikenalpasti. Perceptron berbilang lapisan yang digunakan untuk membangunkan rangkaian neural ini adalah menggunakan perisian Matlab7 dan menggunakan tiga jenis algoritma iaitu algoritma Levenberg-Marquardt, 'Resilient backpropagation' dan 'Bayesian regularization'.

1.5 Panduan Laporan Projek

Laporan ini mengandungi enam bab. Bab 1 ialah pengenalan kepada masalah yang merangkumi objektif dan skop projek. Bab 2 akan menerangkan tentang pengesanan kerosakan berdasarkan kaedah AGT. Bab 3 akan memberi tumpuan kepada pembangunan rangkaian neural untuk mengesan kerosakan. Bab 4 menjelaskan tentang kaedah yang digunakan dalam merekabentuk rangkaian MLP yang meliputi pemilihan fungsi pengaktifan, algoritma latihan, nilai lelaran dan nilai nod tersembunyi yang optimum. Semua keputusan daripada kajian yang dilakukan dimasukkan dalam bab 5 yang meliputi perbincangan bagi setiap keputusan yang diperolehi. Bab yang terakhir ialah bab kesimpulan. Dalam bab ini dinyatakan kesimpulan bagi projek yang telah dijalankan dan segala cadangan yang bersesuaian bagi menjadikan projek ini lebih baik.

BAB 2

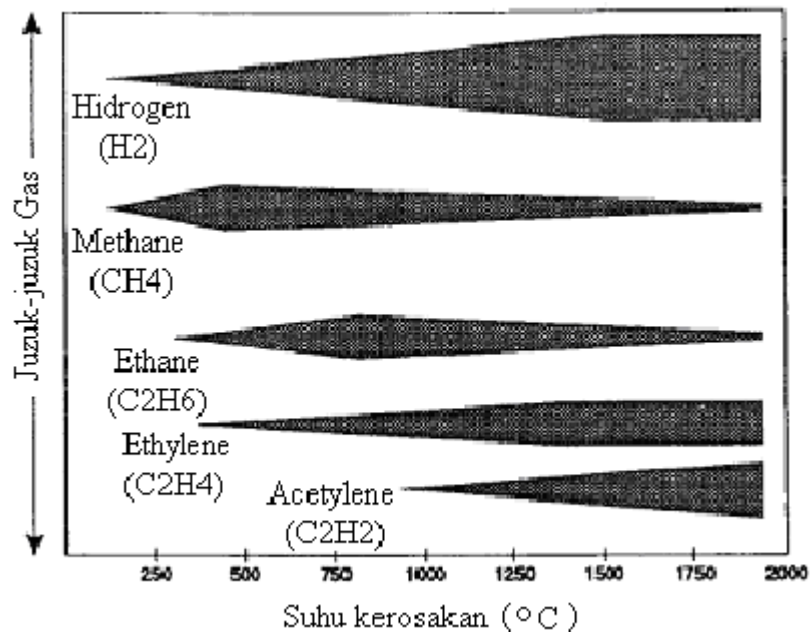
PENGESANAN KEROSAKAN BAHAN PENEBAK BERDASARKAN ANALISIS GAS TERLARUT

2.1 Pendahuluan

Dalam bab ini, analisis gas terlarut (AGT) yang digunakan untuk mengesan kerosakan transformer akan diringkaskan kepada kaedah AGT yang lazim digunakan termasuklah kaedah nisbah dan kaedah gas kunci. Pada akhir bab ini, kita akan membincangkan mengenai kajian yang dilakukan untuk pengesanan kerosakan menggunakan kaedah kecerdikan buatan.

2.2 Ciri-ciri Gas Bagi Kerosakan Transformer

Di bawah tegasan elektrik dan termal, molekul hidrokarbon minyak galian boleh mengurai dan membentuk hidrogen aktif dan serpihan hidrokarbon dan serpihan-serpihan tersebut boleh digabungkan di antara satu sama lain membentuk gas-gas seperti hidrogen (H_2), methane (CH_4), ethane (C_2H_6), ethylene (C_2H_4), acetylene (C_2H_2) dan sebagainya. Didapati juga bahawa jumlah setiap gas bergantung kepada suhu. Halstead mengcadangkan model termodinamik untuk menerangkan hubungan di antara suhu dan ciri-ciri gas, yang mana dengan menganggap semua hidrokarbon dalam minyak terurai ke dalam produk yang sama dan setiap produk adalah dalam keseimbangan dengan semua yang lain. Merujuk kepada model tersebut, kadar pelepasan setiap gas boleh dikira pada mana-mana suhu, oleh itu hubungan di antara penjaan gas dan suhu boleh di perolehi untuk setiap gas. Rajah 2.1 menunjukkan hubungan ini [Zhenyuang, 2000].



Rajah 2.1: Hubungan Gas dan Suhu [Zhenyuang, 2000]

Rajah 2.1 menunjukkan hubungan gas dan suhu. Gas yang dijanakan mengikut urutan dengan peningkatan suhu ialah H₂, CH₄, C₂H₆, C₂H₄ dan C₂H₂. Hidrogen dijanakan pada suhu rendah dan jumlahnya meningkat secara malar manakala acetylene dijanakan pada suhu yang sangat tinggi (1000°C) dan jumlahnya juga meningkat secara malar [Zhenyuang, 2000].

Penurunan bahan penebat pepejal transformer lazimnya dikesan mengikut jumlah dan nisbah karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) terlarut. Jumlah bagi kedua-dua gas tersebut di dapati meningkat secara tiba-tiba di atas nilai suhu ambang iaitu kira 140°C–150°C. Walaubagaimanapun, penjumpaan ini tidak penting untuk menyediakan teknik untuk diagnosis, ini adalah kerana CO dan CO₂ boleh dikemukakan dalam transformer hanya sebagai pengoksidaan minyak suhu rendah jangka panjang. Beberapa orang penyelidik mendapati CO dan CO₂ boleh diserap ke dalam bahan penebat kertas selepas dijanakan, mengakibatkan turun naik dalam pengiraan kepekatan [Zhenyuang, 2000].

Gas yang menyebabkan kerosakan dalam transformer ditunjukkan dalam Jadual 2.1 dan Jadual 2.2, manakala gas-gas yang tidak menyebabkan kerosakan ditunjukkan dalam Jadual 2.3 [DiGiorgio, 1996]:

Jadual 2.1: Gas-gas Hidrokarbon dan Hidrogen

Methane	CH ₄
Ethane	C ₂ H ₆
Ethylene	C ₂ H ₄
Acetylene	C ₂ H ₂
Hidrogen	H ₂

Jadual 2.2: Gas-gas Karbon Oksida

Karbon Monoksida	CO
Karbon Dioksida	CO ₂

Jadual 2.3: Gas-gas yang Tidak Menyebabkan Kerosakan

Nitrogen	N ₂
Oksigen	O ₂

Jumlah kandungan gas boleh bakar (JGB) merupakan kepekatan gas-gas berikut: hidrogen, methane, karbon monoksida, ethane, ethylene dan acetylene. Jika JGB dalam transformer di bawah 700 ppm, pengujian tahunan biasanya dicadangkan. Jika JGB lebih daripada 700 ppm, pengujian enam bulan sekali, empat bulan sekali ataupun sebulan sekali perlu dipertimbangkan (bergantung kepada aras “gas kunci”) [Maze, 2004]. Gas kunci diterangkan dalam bahagian 2.5.

2.3 Kerosakan Transformer

Kerosakan bagi transformer boleh dikelaskan mengikut kategori utama seperti berikut: pengarkaan, korona atau nyahcas, pemanasan lebih ‘cellulose’ dan pemanasan lebih minyak [Zhenyuang, 2000], [DiGiorgio, 1996].

Gas-gas major (minor) yang menyebabkan kerosakan boleh dikategorikan seperti berikut berdasarkan jenis bahan yang terlibat dan jenis kerosakan [DiGiorgio, 1996]:

Jadual 2.4: Gas-gas yang Terlibat dalam Setiap Jenis Kerosakan

Korona/Nyahcas			
Minyak		‘Cellulose’	
H ₂		H ₂ , CO, CO ₂	
Pemanasan Lebih			
Minyak		‘Cellulose’	
Suhu rendah	Suhu tinggi	Suhu rendah	Suhu tinggi
CH ₄ , C ₂ H ₆	C ₂ H ₄ , H ₂ (CH ₄ , C ₂ H ₆)	CO ₂ (CO)	CO (CO ₂)
Pengarkaan			
H ₂ , C ₂ H ₂ (CH ₄ ,C ₂ H ₆ ,C ₂ H ₄)			

Kerosakan dalam transformer di sebabkan oleh satu atau lebih penyebab seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.5. Pengkelasan ini adalah piawai tetapi ianya bukan satu sahaja digunakan. Sebagai contoh, Syarikat Kejuruteraan Doble menggunakan sistem pengkelasan yang berbeza [Zhenyuang, 2000].

Jadual 2.5: Perkaitan di antara Kerosakan Transformer dengan Penyebabnya

Penyebab	Kerosakan			
	Pengarkaan	Korona/ Nyahcas	Pemanasan lebih 'cellulose'	Pemanasan lebih minyak
Litar pintas lilitan ke lilitan belitan	X		X	
Litar buka belitan	X		X	
Operasi yang terbina dalam LTC	X			
Anjakan atau herotan belitan		X	X	
Sambungan longgar kepada terminal sesendal, papan terminal	X	X	X	
Lembapan berlebihan dalam minyak	X	X		
Zarah logam terapung	X	X		
Sambungan longgar kepada perisai korona		X		
Kerosakan terus			X	
Beban berlebihan			X	
Penebatan bolt kuk rosak				X
Kerosakan teras				X
Sistem pendinginan pincang tugas				X

Merujuk kepada Jadual 2.5, satu jenis kerosakan boleh mempunyai lebih daripada satu penyebab. Ini menyebabkan tempat kerosakan sangat susah untuk dikesan. Walaupun demikian, pengesanan kerosakan dapat menyediakan maklumat untuk program penyenggaraan dan menyediakan strategi penyenggaraan pencegahan awal. Untuk tujuan ini, AGT merupakan kunci dalam pengesanan kerosakan transformer. Ia merupakan pendekatan di bawah tiga kategori utama iaitu kaedah nisbah, kaedah gas kunci dan kaedah berdasarkan kecerdikan buatan [Zhenyuang, 2000].

2.4 Pengesanan Kerosakan Menggunakan Kaedah Nisbah

Kaedah nisbah menggunakan nisbah kepekatan gas terlarut sebagai asas pengesanan kerosakan. Terdapat lima nisbah yang digunakan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.6 [Zhenyuang, 2000].

Jadual 2.6: Definisi Nisbah bagi Kaedah Nisbah

Nisbah	CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{C}_2\text{H}_2$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$
Singkatan	R1	R2	R3	R4	R5

Dalam tahun 1970, Dornenburg dapat membezakan kerosakan elektrik dan termal dengan menggunakan empat nisbah dan enam gas [Zhenyuang, 2000]. Enam gas tersebut ialah H_2 , CH_4 , CO , C_2H_2 , C_2H_4 dan C_2H_6 . Empat nisbah dan nilai diagnosis yang digunakan ditunjukkan di dalam Jadual 2.7. Kaedah tersebut mempunyai banyak ujian pengesanan sebelum mencapai keputusan akhir dan ia selalunya gagal untuk membuat sedemikian.

Ujian pengesanan yang paling penting ialah 'LI norm test' yang mana setiap gas diset pada nilai kritikal. Dalam menggunakan kaedah ini, sekurang-kurangnya satu gas untuk setiap nisbah mesti mencapai sempadan 'L1 norm'. Semakan 'L1 norm' disenaraikan dalam Jadual 2.8 [Zhenyuang, 2000].

Jadual 2.7: Kaedah Nisbah Dornenburg

Kerosakan	R1	R2	R3	R4
Penguraian termal	>1.0	<0.75	<0.3	>0.4
Korona (keamatan NS rendah)	<0.1	Tak bererti	<0.3	>0.4
Pengarkaan (keamatan NS tinggi)	>0.1 dan <1.0	>0.75	>0.3	<0.4

Jadual 2.8: Had L1 Dornenburg

Gas	H ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₂ ,	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆
Had L1 (ppm)	100	120	350	35	50	65

Mengikut model termodinamik Halstead, kaedah nisbah Rogers mula diusulkan dalam tahun 1973, ditapis pada tahun 1975 dan ditapis lagi pada tahun 1977 [Zhenyuang, 2000]. Dengan mempertimbangkan pengalaman perindustrian, ujian makmal dan taksiran teori, kaedah tersebut diubahsuai ke dalam piawai IEC [Zhenyuang, 2000].

Kaedah nisbah Rogers yang asal menggunakan Jadual 2.9 untuk diagnosis, di mana 1 menunjukkan nilai sebenar nisbah gas ialah di atas nilai 1.0 dan 0 menunjukkan nilai sebenar nisbah gas di bawah nilai 1.0. Kaedah Rogers yang telah ditapis menggunakan dua jadual, satu untuk menentukan kod dan satu lagi untuk menentukan aturan diagnosis seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.10 dan Jadual 2.11. Kaedah permulaan ini menggunakan empat nisbah. Nisbah ethane/methane (C₂H₆/CH₄) hanya menunjukkan julat suhu penguraian yang terhad, tetapi ia tidak membantu dalam mengenalpasti kerosakan [Zhenyuang, 2000].

Jadual 2.9: Jadual Diagnosis Sebenar untuk Kaedah Nisbah Rogers

CH_4/H_2	$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4/\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2/\text{C}_2\text{H}_4$	Diagnosis
0	0	0	0	Jika CH_4/H_2 ialah 0.1 – nyahcas separa, jika tidak kemerosotan biasa
1	0	0	0	Pemanasan lebih – di bawah 150°C
1	1	0	0	Pemanasan lebih – 150°C - 200°C
0	1	0	0	Pemanasan lebih – 200°C - 300°C
0	0	1	0	Pemanasan lebih konduktor am
1	0	1	0	Arus mengeliling dan/atau Pemanasan lebih sambungan
0	0	0	1	Lampau kilat tanpa kuasa
0	1	0	1	Pemilih penukar tap arus pemutus
0	0	1	1	Arka dengan kuasa atau bunga api

Kaedah nisbah Rogers dan IEC 599 popular dalam amalan perindustrian. Walaubagaimanapun, ia tidak memberi kesimpulan dalam beberapa kes. Ini ialah masalah ‘tiada keputusan’ [Zhenyuang, 2000].

Jadual 2.10: Definisi Kod bagi Kaedah Nisbah Rogers

Nisbah gas	Julat	Kod
CH_4/H_2 (R1)	Tidak lebih daripada 0.1	5
	Di antara 0.1 dan 1.0	0
	Di antara 1.0 dan 3.0	1
	Tidak kurang daripada 3.0	2
$\text{C}_2\text{H}_6/\text{CH}_4$	Kurang daripada 1.0	0

(R4)	Tidak kurang daripada 1.0	1
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆ (R5)	Kurang daripada 1.0	0
	Di antara 1.0 dan 3.0	1
	Tidak kurang daripada 3.0	2
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄ (R2)	Kurang daripada 0.5	0
	Di antara 0.5 dan 3.0	1
	Tidak kurang daripada 3.0	2

Jadual 2.11: Diagnosis Kaedah Nisbah Rogers

R1	R4	R5	R2	Diagnosis
0	0	0	0	Kemerosotan biasa
5	0	0	0	Nyahcas separa
1 atau 2	0	0	0	Pemanasan lebih – di bawah 150 °C
1 atau 2	1	0	0	Pemanasan lebih -150°C-200°C
0	1	0	0	Pemanasan lebih – 200 °C -300 °C
0	0	1	0	Pemanasan lebih konduktor am
1	0	1	0	Arus mengeliling belitan
1	0	2	0	Arus mengeliling tangki dan teras, kepanasan lebih sambungan
0	0	0	1	Kilat lampau tanpa kuasa
0	0	1 atau 2	1 atau 2	Arka dengan kuasa
0	0	2	2	Bunga api berterusan
5	0	1 atau 2	1 atau 2	Nyahcas separa

2.5 Pengesanan Kerosakan Menggunakan Kaedah Gas Kunci

Kaedah gas kunci mengenalpasti gas kunci untuk setiap jenis kerosakan dan menggunakan peratusan gas ini untuk mengesan kerosakan tersebut [Zhenyuang, 2000]. Kriteria pengesanan kaedah gas kunci ditunjukkan dalam Jadual 2.12.

Jadual 2.12: Kriteria Pengesanan Kaedah Gas Kunci

Kerosakan	Kunci gas	kriteria	Jumlah peratus gas
Pengarkaan	Acethylene (C ₂ H ₂)	Kandungan gas H ₂ dan C ₂ H ₂ yang tinggi dan kuantiti gas CH ₄ dan C ₂ H ₄ yang sedikit. CO dan CO ₂ juga boleh wujud jika melibatkan 'cellulose'.	H ₂ : 60% C ₂ H ₂ : 30%
Korona (NS)	Hidrogen (H ₂)	Kandungan H ₂ tinggi, sedikit CH ₄ dengan kuantiti C ₂ H ₆ dan C ₂ H ₄ yang kecil. CO dan CO ₂ boleh dibandingkan jika melibatkan 'cellulose'.	H ₂ : 85% CH ₄ : 13%
Pemanasan lebih minyak	Ethylene (C ₂ H ₄)	Kandungan C ₂ H ₄ yang tinggi, kandungan C ₂ H ₆ kurang, kuantiti CH ₄ dan H ₂ sedikit. Jumlah kandungan CO yang sedikit.	C ₂ H ₄ : 63% C ₂ H ₆ : 20%
Pemanasan lebih 'cellulose'	Karbon Monoksida (CO)	Kandungan CO dan CO ₂ yang tinggi. Gas-gas Hidrokarbon juga wujud.	CO: 92%