

REKABENTUK PENGELOK DATA HARMONIK DAN SUHU BERBILANG  
SALURAN UNTUK PEMANTAUAN PENGUBAH

HENDRI NOVIA BIN SYAMSIR

Tesis ini dikemukakan sebagai memenuhi  
syarat penganugerahan ijazah  
Doktor Falsafah (Kejuruteraan Elektrik)

Fakulti Kejuruteraan Elektrik  
Universiti Teknologi Malaysia

OGOS 2015

*Khas untuk:  
Ayahanda Drs Syamsir Dato' Bagindo(alm)  
Dan Ibunda Hj.Rosmaini Noeh (alm)  
Kakak, Adik Serta Keponakan*

*Teristimewa:  
Buat istri ku tercinta Haniva Oktarini terima kasih atas sokongan  
dan kesabarannya*

## **PENGHARGAAN**

Alhamdulillah syukur diucapkan atas kehadiran Allah subhana wata'ala kerana dengan nikmat, rahmat dan karunia-Nya Saya boleh menyelesaikan tesis ini.

Disini Saya ingin merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada penyelia Saya Dr. Dalila Mat Said, Prof. Dr. Khalid Mohamed Nor dan Prof Madya. Md Shah Majid atas bantuan, nasihat dan bimbingan yang telah diberikan selama melakukan pengajian di UTM sehingga selesainya tesis ini.

Ucapan terima kasih juga Saya sampaikan kepada Mr. Mohamad Onn Daud sebagai pengarah syarikat Dataran Berlian Sdn. Bhd dan semua staf yang telah memberikan masa dan sokongan dalam penyelidikan yang saya lakukan.

Tak lupa ucapan terima kasih ditujukan juga kepada seluruh pensyarah dan kakitangan Fakulti Kejuruteraan Elektrik serta CEES Universiti Teknologi Malaysia yang telah memberi kerjasama yang baik sepanjang penyelidikan ini.

Semoga Allah akan membalaskan segalanya dengan kebaikan, Amin.

## ABSTRAK

Peningkatan penggunaan beban tidak lurus dalam tahun kebelakangan ini telah meningkatkan kehadiran harmonik dengan ketara di dalam sistem kuasa. Kehadiran harmonik didalam sistem kuasa boleh menyebabkan kehilangan kuasa yang tinggi dan kenaikan suhu pengubah yang akan memendekkan jangka hayat pengubah seterusnya menambah kos operasi pengubah tersebut. Kehadiran harmonik pada sistem pengagihan kuasa boleh dikenalpasti dengan pengukuran harmonik. Perkara ini perlu diambil kira sebelum berlakunya kegagalan pada pengubah. Jika pengubah gagal beroperasi sebelum jangka hayat yang ditentukan, ianya akan menyebabkan kerugian besar. Tesis ini membentangkan suatu kaedah penyelenggaraan awal pengubah, disebabkan oleh kesan beban tidak lurus terhadap kenaikan suhu pada pengubah, dengan menggunakan pengellog data berbilang saluran yang direkabentuk. Dalam kajian ini suatu kaedah telah dicadangkan untuk memantau dan mengenalpasti keadaan pengubah. Kaedah ini dilakukan dengan merakam data kualiti kuasa pada pengubah. Data tersebut diambil pada semua saluran pengagihan dan suhu pada pengubah secara serentak. Pengukuran dilakukan ketika pengubah sedang beroperasi dengan menggunakan pengellog data berbilang saluran yang dibina. Kaedah ini lebih cekap berbanding pengellog data biasa yang memiliki hanya satu saluran sahaja. Rekabentuk pengellog data ini dibina dengan menggunakan transduser kualiti kuasa CT1700. Modul mikrokomputer VSX-6154 pula digunakan sebagai pemproses. Aturcara dibina menggunakan perisian Borland C++ 5.02 dan Visual Basic 6.0 dengan komunikasi siri RS232. Pembinaan peralatan ini melibatkan kos yang lebih rendah berbanding pengellog data komersial yang lain. Ketepatannya telah disahkan oleh Makmal Meterologi Kebangsaan SIRIM. Kelebihan alat ini, ialah boleh digunakan untuk merakam data harmonik sehingga bilangan yang ke-21 dan suhu secara serentak untuk 10-saluran. Data yang diperolehi dapat membantu untuk tindakan awal sebelum pengubah gagal sepenuhnya, dan ini boleh menjimatkan kos operasi yang tinggi.

## ABSTRACT

Increasing use of non-linear loads in recent years has increased significantly the presence of harmonics in the power system. The presence of harmonics in the power distribution will cause excessive winding loss in power system components and abnormal temperature rise, which will shorten the life span of the transformer and lead to the increase in operational costs. The harmonic presence in the power distribution system can be identified by harmonic measurements. This situation must be taken into account before the failure of the transformer. If the transformer fails to operate with the expected lifetime, it will cause a huge loss. This thesis presents a preliminary method of transformer maintenance, due to the effect of non-linear load on the transformer temperature rise, using a designed of multi-channel\ data logger. In this study, a method has been proposed to monitor and identify the transformer condition. This method has been done by recording the power quality data of a transformer. Data is taken at all channels of distribution and transformer temperature simultaneously. Measurement is performed for operating transformer by using the multi-channel data logger. This method is more efficient than a normal data logger, which has only one channel. The data logger is designed using quality power transducers CT1700. Microcomputer modules VSX-6154 is used as the processor. The program is developed using Borland C ++ and Visual Basic 6.0 with RS232 serial communication. The equipment cost is at lower price than other commercial data logger. The accuracy was confirmed by the National Metrology Laboratory SIRIM. The advantages of this tool are to simultaneously capture data harmonics up to number 21 and temperature simultaneously for 10 channels. The data obtained helps an early response before the transformer fails completely, and this may save high operational costs.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xiii
	<b>SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN</b>	xvi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xviii
<b>1</b>	<b>Pengenalan</b>	<b>1</b>
	1.1 Latar Belakang Penyelidikan	1
	1.2 Pernyataan Masalah	2
	1.3 Objektif Penyelidikan	3
	1.4 Skop Penyelidikan	4
	1.5 Kepentingan Penyelidikan	5
	1.6 Susunatur Tesis	6
<b>2</b>	<b>ULASAN KEPUSTAKAAN</b>	<b>8</b>
	2.1 Pengenalan	8
	2.2 Sumber Harmonik	9
	2.3 Kesan Harmonik	10
	2.4 Kesan Harmonik Pada Mesin Elektrik	13

2.5	Kesan Harmonik Pada Kapasitor	14
2.6	Kesan Harmonik Pada Pengubah Kuasa	14
2.6.1	Kehilangan Kuasa Pada Pengubah Kesan Daripada Kenaikan Suhu	15
2.7	Kesan Harmonik Pada Kabel	18
2.8	Kesan Harmonik Pada Peralatan Elektronik	19
2.9	Kesan Harmonik Pada Geganti Perlindungan	19
2.10	Kaedah yang Telah Dilakukan Untuk Mengatasi Permasalahan Harmonik	20
2.10.1	Kaedah Menggunakan Penapis	21
2.10.2	Kaedah Pelaluan Arus Neutral	22
2.10.3	Kaedah Anjakan Sudut Fasa	23
2.11	Kaedah yang Dilakukan Dalam Penyelidikan Ini	23
2.12	Ringkasan	24
<b>3</b>	<b>HEROTAN ARUS BEBAN TIDAK LELURUS</b>	<b>25</b>
3.1	Pengenalan	25
3.2	Herotan Harmonik	26
3.2.1	Aras Harmonik	27
3.2.2	Analisa Siri Fourier	28
3.2.3	Nilai Berkesan	31
3.2.4	Jumlah Herotan Harmonik	34
3.2.5	Kuasa dan Faktor Kuasa	37
3.3	Turutan Fasa Komponen Harmonik	41
3.4	Arus Harmonik Beban Tidak Lelurus	45
3.4.1	Penerus Satu Fasa	46
3.4.2	Penerus Tiga Fasa	50
3.5	Piawai Harmonik	52
3.6	Ringkasan	54
<b>4</b>	<b>FAKTOR YANG MEMBERI KESAN PENURUNAN JANGKA HAYAT PENGUBAH</b>	<b>55</b>
4.1	Pengenalan	55

4.2	Faktor Asas Kenaikan Suhu	57
4.2.1	Kenaikan Suhu Pada Gegelung	58
4.2.2	Kenaikan Suhu Titik Panas	59
4.2.3	Faktor yang Mempengaruhi Suhu Titik Panas	60
4.2.3.1	Suhu Persekitaran	61
4.2.3.2	Beban Pengubah	61
4.2.3.3	Suhu Minyak Atas	61
4.2.3.4	Suhu Kecerunan Titik Panas	62
4.2.4	Kaedah Pengiraan Suhu Titik Panas	62
4.3	Kenaikan Suhu Minyak	65
4.3.1	Pengiraan Suhu Minyak Bahagian Atas	69
4.4	Suhu Operasi Pengubah Kuasa	70
4.4.1	Suhu Operasi Pengubah Ketika Berbeban	72
4.5	Kaedah Untuk Menentukan Suhu Operasi Pengubah	75
4.6	Cara Menganggarkan Suhu Operasi Pengubah	76
4.6.1	Pengukuran Suhu Persekitaran	77
4.6.2	Pengukuran Suhu Minyak Atas	77
4.6.3	Pengukuran Suhu Titik Panas	78
4.7	Faktor Kegagalan Dalam Operasi Pengubah	78
4.7.1	Kegagalan Jangka Pendek	79
4.7.2	Kegagalan Jangka Panjang	79
4.7.3	Kegagalan Pada Penebat	80
4.8	Kesan Harmonik Pada Pengubah	81
4.8.1	Kehilangan Kuasa Tembaga	82
4.8.2	Kehilangan Kuasa Arus Pular	83
4.8.3	Kehilangan Kuasa Histerisis	84
4.9	Ringkasan	85
<b>5</b>	<b>REKABENTUK PENGELOG DATA KUALITI KUASA</b>	<b>86</b>
5.1	Pengenalan	86
5.2	Kualiti Kuasa	87
5.3	Prinsip Asas Pengukuran	87
5.4	Pengeglog Data Harmonik dan Suhu Berbilang Saluran	89



5.4.1	Transduser CT1700	90
5.4.2	Pemultipleks	93
5.4.3	Pemproses komputer modul VSX-6154	94
5.4.4	Pengesan Suhu	95
5.4.5	Pengesan Arus	99
5.5	Aturcara yang Dibangunkan	99
5.5.1	Aturcara RTU Menggunakan Perisian Borland C++5.02	100
5.5.2	Aturcara Terminal Komunikasi dengan Perisian Visual Basic 6.0	101
5.6	Penentukuran dan Pengesahan	103
5.7	Proses Pengukuran	108
5.8	Geraf Data Hasil Pengukuran	109
5.9	Ringkasan	111
<b>6</b>	<b>KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN</b>	<b>112</b>
6.1	Pengenalan	112
6.2	Analisa Data	112
6.3	Kuasa Asas	113
6.3.1	Faktor Kuasa Beban Tidak Lelurus	121
6.4	Kenaikan Suhu dan Kehilangan Kuasa Pada Pengubah	131
6.4.1	Kenaikan Suhu	134
6.4.2	Kehilangan Kuasa Pada Pengubah dan Pengiraan Kos	136
6.5	Ringkasan	138
<b>7</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN PENYELIDIKAN</b>	<b>139</b>
7.1	Kesimpulan	139
7.2	Sumbangan Penyelidikan	141
	<b>RUJUKAN</b>	<b>143</b>
	Lampiran A - F	150 - 217

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	HALAMAN
2.1	Kekutuban dari komponen harmonik	11
3.2	Kesan kekutuban komponen harmonik	11
3.1	Turutan fasa komponen arus harmonik	28
3.2	Arus harmonik pada komputer dan televisyen	50
3.3	Piawai had arus harmonik IEC 555-2-1991	53
3.4	Cadangan piawai had arus harmonik IEEE-519-1992	53
3.5	Julat herotan voltan harmonik	54
4.1	Senarai piawai penyejukan pada pengubah	59
4.2	Nilai eksponen $m$ suhu penyejukan	65
4.3	Panduan penggunaan penyejukan minyak mineral	65
4.4	Pengiraan penurunan jangka hayat pengubah	68
4.5	Nilai eksponen $n$ yang digunakan untuk pengiraan suhu	69
4.6	Status beban pengubah	73
4.7	Aras penebat pada minyak pengubah	80
4.8	Faktor kehilangan kuasa arus pusing	83
5.1	Protokol daftar pada CT1700 dengan Fungsi = 03 Hex	91
5.2	Cara membaca nilai daftar untuk voltan R-N dalam daftar 0000H	91
5.3	Tanggapan hasil pembacaan daftar 0000H dengan $V = 100V$	91
5.4	Penentukuran pengesanan suhu Resmos berbanding ACR menggunakan pengesanan termistor	97
5.5	Sijil penentukuran makmal kebangsaan yang dikeluarkan oleh SIRIM untuk voltan harmonik	104
5.6	Sijil penentukuran kebangsaan yang dikeluarkan oleh	

	SIRIM untuk arus harmonik	104
5.7	Arus harmonik Resmos berbanding dengan Fluke 435 kes 1	105
5.8	Arus harmonik Resmos berbanding dengan Fluke 435 kes 2	105
5.9	Arus harmonik Resmos berbanding dengan Fluke 435 kes 3	106
6.1	Arus JHH pada beban tidak lurus	131
6.2	Kesan faktor kuasa harmonik pada beban tidak lurus	131
6.3	Data spesifik pengubah	132
6.4	Spesifik data untuk pengiraan kehilangan kuasa pada pengubah	132
6.5	Pengiraan kehilangan kuasa pada fasa R (JHHI = 24.72%)	133
6.6	Pengiraan kehilangan kuasa pada fasa Y (JHHI=23.11%)	133
6.7	Pengiraan kehilangan kuasa pada fasa B (JHHI=5.86%)	133
6.8	Kehilangan kuasa dengan adanya harmonik	133

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	HALAMAN
2.1	Pandangan khas pengubah terendam minyak	16
2.2	Diagram haba pengubah menurut IEC 354	17
3.1	Bentuk gelombang asas dan herotan harmonik	27
3.2	Bentuk gelombang arus ulang-alik dengan herotan harmonik	34
3.3	Sistem kuasa elektrik tiga fasa dengan beban tidak lurus	42
3.4	Litar penerus satu fasa jambatan diod	47
3.5	(a) Bentuk gelombang voltan dan arus penerus (b) Spektrum arus penerus	47
3.6	Penerus satu fasa dengan penapis kapasitor	49
3.7	Bentuk gelombang voltan dan arus	49
3.8	Litar penerus tiga fasa jambatan diod	51
3.9	Bentuk gelombang voltan dan arus keluaran	51
4.1	Sistem penyejukan pada pengubah	57
4.2	Ciri-ciri suhu pengubah pada keadaan beban normal	73
4.3	Ciri-ciri suhu pengubah pada keadaan beban berasaskan plat nama	74
4.4	Ciri-ciri suhu pengubah pada keadaan beban kecemasan dengan masa yang lama	74
4.5	Ciri-ciri suhu pengubah pada keadaan beban kecemasan seketika	75
5.1	Blok kawalan pengukuran pengellog data	88
5.2	Pengellog data	89
5.3	Transduser kuasa CT 1700	90
5.4	Carta alir rekabentuk pengellog data berbilang saluran	92
5.5	Blok litar pemultipleks	93

5.6	Modul pemproses VSX-6154	95
5.7	Pengesan suhu	96
5.8	Penganda arus	96
5.9	Litar penguat arus	96
5.10	Perkakasan lengkap penguat arus	96
5.11	Geraf suhu yang dikesan oleh pengesan Resmos dan ACR	98
5.12	Pengesan arus	99
5.13	Paparan aturcara yang dibangunkan menggunakan Borland C++ 5.02 pada RTU	100
5.14	Paparan menu utama dari terminal komunikasi	102
5.15	Paparan menu utama dari terminal komunikasi harmonik	103
5.16	Perbandingan data arus harmonik ke-3 fasa R antara Resmos dengan Fluke 435	106
5.17	Perbandingan data arus harmonik ke-3 fasa antara Resmos dengan Fluke 435	107
5.18	Perbandingan data arus harmonik ke-3 fasa B antara Resmos dengan Fluke 435	107
5.19	Blok sistem pengukuran	108
5.20	Pengubah dengan pengesan suhu	108
5.21	Pemasangan pegesan arus pada saluran keluaran pada pengubah	108
5.22	Geraf ciri-ciri arus beban yang digunakan	109
5.23	Geraf voltan untuk setiap fasa yang diagihkan	110
5.24	Geraf arus neutral maksimum yang mengalir akibat dari ketidak seimbangan beban dan kesan beban tidak lurus sebesar 84.7 A	110
6.1	Voltan pada pengubah PE Taman Marida No 1 untuk setiap fasa	113
6.2	Voltan pada pengubah Hospital KPJ untuk setiap fasa	114
6.3	Voltan pada pengubah Kilang FE Magnet untuk setiap fasa	114
6.4	Arus beban pengubah Taman Marida No1 untuk setiap fasa	115
6.5	Arus beban pengubah Hospital KPJ untuk setiap fasa	116
6.6	Arus beban pengubah Kilang FE Magnet untuk setiap fasa	116

6.7	Bacaan suhu pada pengubah Taman Marida No 1	117
6.8	Bacaan suhu pada pengubah Hospital KPJ	118
6.9	Bacaan suhu pada pengubah kilang FE Magnet	119
6.10	Faktor kuasa sebenar pada pengubah PE Taman Marida No 1	119
6.11	Faktor kuasa sebenar pada pengubah Hospital KPJ	120
6.12	Faktor kuasa sebenar pada pengubah Kilang FE Magnet	120
6.13	Faktor kuasa anjakan pengubah Taman Marida No 1	121
6.14	Faktor kuasa anjakan pengubah Hospital KPJ	122
6.15	Faktor kuasa anjakan pengubah Kilang FE Magnet	122
6.16	Faktor herotan pada pengubah Taman Marida No 1	123
6.17	Faktor herotan pada pengubah Hospital KPJ	123
6.18	Faktor herotan pada pengubah Kilang FE Magnet	124
6.19	Voltan JHH pada pengubah Taman Marida No 1	124
6.20	Voltan JHH pada pengubah Hospital KPJ	125
6.21	Voltan JHH pada pengubah Kilang FE Magnet	126
6.22	Arus JHH pada pengubah Taman Marida No 1	126
6.23	Arus JHH pada pengubah Hospital KPJ	127
6.24	Arus JHH pada pengubah Kilang FE Magnet	127
6.25	Peratus arus harmonik untuk setiap aras pada pengubah Taman Marida No 1	129
6.26	Peratus arus harmonik untuk setiap aras pada pengubah Hospital KPJ	129
6.27	Peratus arus harmonik untuk setiap aras pada pengubah Kilang FE Magnet	130
6.28	Kehilangan kuasa pada pengubah kesan harmonik	134

## SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

$K_t$	-	Perbandingan beban mula-mula dengan kadar beban
$\Delta\theta_{TO,R}$	-	Kecerunan suhu minyak atas pada kadar beban berasaskan pengukuran
$K_v$	-	Perbandingan antara berbeban dengan beban normal
$\Delta\theta_{H,U}$	-	Kecerunan suhu titik panas pada kadar beban berasaskan pengukuran
$\Delta\theta_{H,J}$	-	Kecerunan suhu titik panas mula-mula
$t$	-	Lama perubahan beban
$\tau_w$	-	Tetapan masa gegelung, jam
$C$	-	Kapasiti haba pengubah
$W_{TF}$	-	Berat tangki dalam pemasangan
$GO$	-	Jumlah galon minyak yang digunakan sebagai penyejukan
$P_{T,R}$	-	Purata kehilangan kuasa beban
$\theta_H$	-	Suhu titik panas ( $^{\circ}C$ )
$FPP$	-	Faktor percepatan penuaan
$n$	-	Langkah untuk mempercepat pengiraan faktor penuaan
$\Delta t_n$	-	Selang masa untuk langkah pengiraan
$\theta_{TO}$	-	Suhu minyak atas ( $^{\circ}C$ )
$\Delta\theta_{TO,i}$	-	Suhu minyak atas melebihi suhu persekitaran $t = 0$ ( $^{\circ}C$ )
$V_3$	-	Nilai berkesan komponen voltan harmonik aras ke-3
$I_h$	-	Nilai berkesan arus harmonik ke-h
$i_{RY}$	-	Arus seketika fasa R
$i_{YB}$	-	Arus seketika fasa Y
$i_{BR}$	-	Arus seketika fasa B
$\phi_1$	-	Sudut anjakan fasa komponen arus asas
$\phi_h$	-	Sudut anjakan fasa komponen arus harmonik aras ke-h

$h$	-	Aras harmonik ke- $h$ ( $h = 2, 3, 34, \dots$ )
$I_{SC}$	-	Arus litar pintas maksimum di PCC (comment coupling point)
$I_L$	-	Arus beban maksimum pada frekuensi asas di PCC
TDD	-	Jumlah herotan beban (%)
JHH	-	Jumlah herotan harmonik (%)
$\theta_A$	-	Suhu persekitaran
$\Delta\theta_{TO}$	-	Kecerunan suhu minyak atas melebihi suhu persekitaran
$\Delta\theta_H$	-	Kecerunan suhu titik panas melebihi suhu minyak atas
$\Delta\theta_{TO,U}$	-	Kecerunan suhu minyak atas
$\Delta\theta_{TO,J}$	-	Kecerunan suhu minyak atas mula-mula
$\tau_{TO}$	-	Masa tetapan minyak
$\tau_{oil}$	-	Masa suhu minyak atas atau titik panas
$P_R$	-	Kehilangan kuasa tembaga
$P_h$	-	Kehilangan kuasa histerisis
$H$	-	Ciri-ciri material teras
$A$	-	Luas penampang
$B_{mx}$	-	Kerapatan fluks magnet
$P_{EC-f}$	-	Kehilangan kuasa arus seketika
$I_h$	-	Arus komponen harmonik
$R_h$	-	Perintang penghantar untuk frekuensi aras ke- $h$
$I_{sm1}$	-	Nilai maksimum komponen arus asas
$I_{sm2}$	-	Nilai maksimum komponen arus harmonik aras ke-2
$I_{sm3}$	-	Nilai maksimum komponen arus harmonik aras ke-3
$I_{smh}$	-	Nilai maksimum komponen arus harmonik aras ke- $h$
$I_{s1}$	-	Nilai berkesan komponen asas
$I_{s2}$	-	Nilai berkesan komponen arus harmonik aras ke-2
$I_{s3}$	-	Nilai berkesan komponen arus harmonik aras ke-3
$I_{sh}$	-	Nilai berkesan komponen arus harmonik aras ke- $h$
LCC	-	Jumlah kos pengubah
LCR	-	Kos kehilangan kuasa
LCWH	-	Kos kehilangan kuasa tanpa harmonik
LCH	-	Kos kehilangan kuasa dengan adanya harmonik
RTU	-	Resmos Terminal Unit



**SENARAI LAMPIRAN**

<b>NO. JADUAL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A	Aturcara perisian menggunakan Borland C++ 5.02	150
B	Aturcara perisian menggunakan Visual Basic 6.0	181
C	Mod Bus protocol Transduser CT 1700	210
D	Sijil pengesahan kaji sukat makmal kebangsaan SIRIM	212
E	Spesifikasi ketepatan transduser CT1700 dan Operasi mod kawalan	215
F	Senarai penerbitan	217

## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Latar Belakang Penyelidikan**

Peningkatan perkembangan teknologi sekarang ini, membawa perubahan kehidupan manusia dalam melakukan kerja sehari-hari, termasuklah dalam hal menyelesaikan tugas-tugasnya yang semuanya itu menggunakan perkakasan. Perkakasan yang digunakan seperti komputer serta perkakasan lainnya yang secara amnya diperbuat dari komponen elektronik. Pelbagai peralatan aplikasi hampir keseluruhannya menggunakan komponen elektronik. Seperti peralatan-peralatan yang digunakan di pejabat, industri dan perumahan. Peralatan yang menggunakan komponen elektronik kuasa adalah jenis beban tidak lurus, merupakan penyebab terjadinya gangguan harmonik pada sistem pengagihan termasuklah pengubah pada pencawang elektrik [1].

Masalah ini berlaku terutamanya di bangunan komersial, industri dan perumahan dimana penggunaan beban tidak lurus adalah tinggi. Kehilangan kuasa disebabkan oleh harmonik meningkatkan kos operasi dan pemanasan tambahan terhadap peralatan sistem kuasa, di mana boleh memendekkan jangka hayat pengubah. Kehadiran harmonik pada sistem pengagihan kuasa telah disahkan dengan pengukuran harmonik. Untuk mengetahui kesan beban tidak lurus terhadap nilai jumlah herotan harmonik dan kerugian yang disebabkanya diperlukan data pengukuran. Secara amnya peralatan elektrik yang menggunakan komponen separuh pengalir dan operasi

kerjanya model pensuisan atau yang dikenal sebagai beban tidak lurus, jenis beban ini akan menjana harmonik pada sistem pengagihan kuasa elektrik. Dengan mempertimbangkan keadaan yang ada sekarang dapat dipastikan bahawa kesan harmonik pada sistem pengagihan tenaga elektrik masa hadapan akan semakin meningkat [5]. Tentu saja hal ini akan menimbulkan pelbagai macam permasalahan akibat dari kehadiran harmonik tersebut.

Di negara-negara maju permasalahan harmonik sudah merupakan suatu permasalahan yang perlu diambil kira. Hasil kajian yang dilakukan oleh *Electric Power Research Institute (EPRI)* menyatakan bahawa 35% hingga 40% dari semua kuasa elektrik yang dijana dipergunakan untuk keperluan tenaga elektrik bagi beban-beban elektronik. Peratus ini dianggarkan meningkat terus hingga mencapai lebih dari 60-70% pada tahun 2010 [2], [6].

Pada asasnya proses pengagihan kuasa elektrik daripada penjana ke beban terjadi kehilangan kuasa saluran jika kuasa disalurkan pada voltan rendah. Untuk memperkecil kerugian kuasa pengagihan dan memaksimumkan kuasa yang diagihkan, voltan dinaikkan pada paras yang sesuai dengan kuasa yang disalurkan. Kemudian voltan diturunkan lagi dengan menggunakan pengubah [16]. Oleh kerana itu, pengubah mempunyai peranan penting dalam pengagihan kuasa elektrik dari penjana ke beban. Kualiti kuasa dan meningkatnya kehilangan kuasa yang disebabkan oleh harmonik dalam pengubah merupakan satu isu yang penting kerana ini dapat mempengaruhi jangka hayat daripada pengubah. Tingginya herotan harmonik dapat menurunkan kualiti kuasa yang disalurkan dan kehilangan kuasa semakin meningkat mengakibatkan arus neutral pengubah juga bertambah [3], [4].

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Permasalahan utama dalam penyelidikan ini adalah bagaimana cara untuk mengenal pasti punca kegagalan pengubah yang semakin meningkat. Kehadiran

harmonik dalam sistem elektrik memberi impak yang besar terhadap kualiti kuasa elektrik. Ini kerana ia boleh menyebabkan kehilangan tenaga akibat meningkatnya pemanasan pada pengubah. Selain itu gangguan harmonik juga mempengaruhi jangka hayat pengubah dan pada akhirnya terjadi kegagalan. Sekiranya perkara ini tidak diambil kira untuk diselesaikan secara mendalam, ianya akan menyebabkan kerugian.

Dalam kajian ini sebuah sistem pemantauan awal pengubah menggunakan pengellog data harmonik dan suhu berbilang saluran diperkenalkan. Alat ini boleh mengukur beberapa nilai aras harmonik dan suhu berbilang saluran. Alat ini juga direkabentuk untuk mengenalpasti punca gangguan harmonik dan suhu pada pengubah. Dari data yang diperolehi, sesebuah pengubah dapat dikenal pasti sama ada mempunyai gangguan harmonik atau tidak.

Banyak jenis alat pengukuran kualiti kuasa yang telah diperkenalkan pada penyelidikan sebelumnya secara komersial dimana peralatan ini boleh juga mengukur beberapa aras nilai harmonik. Kebanyakan dari peralatan ini terdiri daripada satu saluran pengukuran sahaja. Selain tidak dapat mengukur suhu secara bersamaan. Berbeza dengan pengellog data yang direkabentuk, pengellog data ini boleh mengukur 10 saluran secara bersamaan dan juga suhu sehingga data yang didapati lebih jitu kerana diukur secara bersamaan. Pengukuran suhu penting untuk di ambil kira dalam menentukan kesan daripada beban tidak lurus pada kenaikan suhu pengubah [25-34]. Bilangan alat ukur yang banyak diperlukan jika data dikehendaki dari semua saluran, ini akan melibatkan kos yang tinggi. Berbanding dengan alat ukur pengellog data yang diperkenalkan, secara mudah dan kos yang lebih rendah. Alat ini dapat mengukur 10 saluran secara serentak dan juga suhu pada pengubah, inilah keistimewaan dari rekabentuk yang diperkenalkan.

### **1.3 Objektif Penyelidikan**

Tujuan utama penyelidikan ini adalah untuk membina suatu peralatan pengellog data yang dapat memantau dan memelihara pengubah pada sistem pengagihan tenaga elektrik secara berkala. Konsep ini berbentuk rekabentuk peralatan yang boleh

mengukur nilai asas elektrik, harmonik dan suhu secara bersamaan sehingga data yang diukur pada waktu yang sama dan oleh itu herotan harmonik dan kenaikan suhu dapat dianalisa lebih jitu. Secara keseluruhan tujuan kajian ini dijalankan adalah seperti berikut :

- (i) Merekabentuk sub sistem pengesanan suhu untuk mengesan suhu pada bahagian pengubah menggunakan pengesanan termistor dengan menggunakan penguat arus IC LM741 sebagai penguat.
- (ii) Merekabentuk pemultiplek yang digunakan untuk mengawal aliran data dari setiap saluran masukan dengan transduser.
- (iii) Membina perisian yang boleh mengawal kerja *Resmos Terminal Unit*, RTU dengan transduser menggunakan Borland C++ 5.02.
- (iv) Membina perisian untuk komunikasi antara RTU dengan Komputer menggunakan visual basic 6.0.
- (v) Merekabentuk peralatan pengellog data harmonik berbilang saluran untuk sistem pengagihan tiga fasa empat wayar dengan kos yang lebih rendah. Dengan menggunakan pemultiplek boleh menjimatkan penggunaan transduser dan CPU yang seharusnya untuk 10 saluran digunakan 10 transduser dan CPU. Jika menggunakan pemultiplek untuk 10 saluran ini cukup dengan satu transduser dan CPU sahaja. Dengan demikian terdapat penjimatan penggunaan transduser dan CPU sebanyak 9 unit.

#### **1.4 Skop Penyelidikan**

Permasalahan yang dibincangkan iaitu bagaimana untuk mengenal pasti punca kegagalan dari pengubah yang disebabkan oleh gangguan harmonik dan rekabentuk peralatan yang boleh mengesan punca tersebut dengan skop seperti berikut :

- (i) Rekabentuk pengellog data harmonik berbilang saluran memiliki 10 saluran pengukuran yang terdiri daripada 2 saluran untuk masukan R, Y,

B dan N, 5 saluran untuk keluaran R, Y, B dan N ditambah 3 untuk pengukuran suhu.

- (ii) Perisian yang dibina menggunakan borland C++ 5.02 dan Visual Basic 6.0 yang digunakan untuk *Resmos Terminal Unit*, RTU dan Komputer Peribadi.
- (iii) Pengukuran dilakukan pada pencawang elektrik TNB voltan rendah tiga fasa empat wayar untuk beberapa tempat seperti beban komersial, industri dan kediaman.

## 1.5 Kepentingan Penyelidikan

Penyelidikan ini telah menghasilkan suatu alat pengellog data berbilang saluran. Alat ini dapat digunakan untuk merakam data asas, harmonik dan suhu pada pengubah untuk 10 saluran secara serentak. Data yang diperolehi boleh dijadikan sebagai rujukan sebelum sebarang tindakan diambil supaya pengubah tersebut dapat bekerja dengan baik dalam jangka hayat yang ditentukan.

Dalam penyelidikan ini, pengukuran harmonik dilakukan pada saluran keluaran pengubah untuk setiap saluran pengagihan di pencawang elektrik TNB. Pengukuran dilakukan untuk berbagai macam beban seperti beban komersial, industri dan kediaman. Data yang diperolehi untuk sistem pengagihan tenaga elektrik voltan rendah terdiri dari dua jenis, iaitu sistem pengagihan tenaga elektrik tiga fasa empat wayar dan sistem pengagihan tenaga elektrik tiga fasa tiga wayar.

Pada sistem pengagihan tenaga elektrik tiga fasa empat wayar, herotan arus saluran disebabkan oleh komponen arus harmonik yang ke-3 atau arus harmonik jujukan sifar yang dihasilkan oleh beban-beban tidak lurus satu fasa. Komponen arus harmonik jujukan sifar semua mengalir melalui wayar neutral dan menyebabkan peningkatan arus neutral. Pada sistem pengagihan tiga fasa tiga wayar pula, herotan arus saluran sistem disebabkan oleh komponen-komponen arus harmonik yang ke-5 dan yang ke-7 dihasilkan oleh beban-beban tidak lurus tiga fasa. Arus ini akan

menyebabkan meningkatnya kehilangan kuasa dan terjadinya pemanasan tambahan pada pengubah.

Dengan menggunakan pengellog data berbilang saluran ini data harmonik dan suhu dapat dirakam pada masa yang sama. Sekiranya pemantauan pengubah dilaksanakan dengan merakam data tersebut langkah awal dapat diambil sebelum berlakunya sebarang kerosakan pada pengubah yang boleh melibatkan kos yang lebih tinggi.

## **1.6 Susunatur Tesis**

Susunatur penulisan dalam tesis ini terdiri daripada tujuh bab dan ditambah dengan lampiran. Susunatur ini dibuat supaya lebih mudah untuk memahami isi kandungan tesis. Secara keseluruhan setiap bab dijelaskan dalam perenggan yang seterusnya :

Bab 1 membincangkan secara ringkas latar belakang penyelidikan yang merangkumi peningkatan penggunaan peralatan elektronik yang berperanan sebagai beban tidak lurus. Beban ini menyebabkan arus sistem mengalami herotan dan seterusnya menyebabkan kenaikan suhu pada pengubah. Kesan harmonik pada sistem boleh menimbulkan pelbagai jenis permasalahan. Oleh yang demikian pemeliharaan awal pengubah perlu dilakukan. Dalam bab ini juga dibincangkan mengenai objektif penyelidikan, skop penyelidikan, pernyataan masalah, kepentingan penyelidikan.

Bab 2 membincangkan punca-punca harmonik pada sistem pengagihan tenaga elektrik, kesan harmonik pada pengubah dan hasil-hasil penyelidikan berkaitan yang telah dilakukan. Kaedah untuk mengurangkan kesan harmonik terhadap sistem kuasa dan beberapa kaedah pengukuran yang telah dilakukan sebelumnya berbanding dengan kaedah yang dicadangkan.

Bab 3 membincangkan mengenai bentuk gelombang sistem arus ulang alik yang mengalami herotan, peratus kandungan harmonik dan kesan harmonik terhadap

kuasa dan faktor kuasa. Jumlah herotan harmonik berasaskan Siri Fourier dan kesan harmonik terhadap arus neutral juga dijelaskan. Dalam bab ini juga dijelaskan turutan simetri dari komponen harmonik tiga fasa. Pada bahagian akhir bab ini penjelasan mengenai arus harmonik yang dihasilkan oleh penerus satu fasa dan tiga fasa dan had harmonik dalam bentuk piawaian harmonik IEC-555-2-1991 dan IEEE- 519- 1992.

Bab 4 membincangkan beberapa faktor utama yang menyebabkan penurunan jangka hayat pengubah. Penurunan jangka hayat ini disebabkan oleh sistem operasi pada pengubah akibat kenaikan arus beban, gangguan harmonik dan kenaikan suhu pada gegelung. Kegagalan yang dialami adalah kegagalan jangka pendek, kegagalan jangka panjang serta kegagalan pada minyak dan penebat pengubah. Pada bab ini juga diuraikan masalah yang boleh timbul akibat dari gangguan harmonik pada pengubah selain boleh mengganggu kualiti kuasa, harmonik juga boleh meningkatkan kehilangan kuasa tembaga, arus pular dan arus histerisis.

Bab 5 membincangkan tentang konsep asas rekabentuk alat ukur pengellog data harmonik dan suhu berbilang saluran. Rekabentuk ini termasuk pembinaan pemultipleks aturcara menggunakan perisian Borland C++ 5.02 dan Visual Basic 6.0 untuk mengawal aliran data oleh pemproses pada modul VSX-6154. Sistem komunikasi data yang digunakan untuk pengesanan arus dan suhu serta penentuan dari setiap pengesanan juga dijelaskan.

Bab 6 membincangkan mengenai keputusan yang diperolehi dari berbagai-bagai jenis kes yang diukur pada beban harian daripada pencawang elektrik TNB. Setiap data dinyatakan dalam bentuk graf dan dianalisa berasaskan ciri-ciri graf yang ada. Daripada hasil pengukuran data sebarang keputusan boleh diambil untuk memastikan sistem pengubah dapat beroperasi dengan baik.

Dalam bab 7 kesimpulan daripada hasil penyelidikan telah dipersembahkan. Terdapat juga beberapa usul-usul penting untuk diambil kira dalam penyelidikan yang akan datang. Pada bahagian lampiran diberikan beberapa rujukan dan panduan untuk keperluan penjelasan yang terdapat di dalam bab-bab tertentu.



## RUJUKAN

1. P.A Dahono, *Hasil Minimisasi Arus Neutral Sistem Pada CSM –Cikarang*, Lab. Penelitian Konversi Energi Elektrik - ITB, Bandung, 1997.
2. S.L Clark, P Famouri and W.L. Cooley, *Elimination of Supply Harmonics*, IEEE Industry Applications Magazine, pp 62-67.
3. Tom Shangnessy, *Power CET*, Santa Clara CA, Power quality.com,2000
4. James K. Phipps, John P. Nelson and Pankaj K. Sen, *Power Quality and Harmonic Distribution System*, IEEE Trans. Ind. Appt. Vol. 30. No.2, March/April, 1994, pp 476-484.
5. R.L Smity and P.P Stanford, *Power System Harmonic Effects from Adjustable Speed Drives*, IEEE Trans. Ind. Appl. Vol.IA-20. No.4, , July/August, 1984, pp 973-977.
6. E.F. Fuchs, D.J. Roesler, K.P. Kovacs, *Aging of Electrical Appliances Due to Harmonics of the Power System's Voltage*, IEEE Transactions on Power Delivery: Vol. 1, No. 3, , 1986, pp. 301-307.
7. Jinrong Qian, F.C.Y. Lee, and T. Yamauchi, *Current- Source Charge-Pump Power- Factor-Correction Electronic Ballast*, IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.13, No. 3, May 1998 , pp. 564-572.
8. F.V. Topalis, *Efficiency of Energy Saving Lamps and Harmonic Distortion in Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 4, Oct 1993, pp. 2038-2042.
9. J.C. Gomez, and M.M. Morcos, *Impact of EV Battery Charges on the Power Quality of Distribution Systems*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18, No. 3, July 2003, pp. 975-981.
10. C.J. Melhorn, L. Tang, *Transient Effects of PWM Drives on Induction Motors*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, No. 4, July/August 1997, pp. 1065-1072.

11. Dalila, M.S., *Harmonic Measurement and Simulation to Improve Power Supply Quality in Faculty of Electrical Engineering UTM*, Master Thesis. Universiti Teknologi Malaysia, 2002.
12. *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE Standard 519, 1992.
13. E.F. Fuchs, and M.A.S. Masoum, *Power Quality in Power Systems and Electrical Machine*, Burlington, USA: Elsevier, 2008.
14. F.C. De La Rosa, *Harmonics and Power Systems*. Boca Raton, FL: CRC, Taylor & Francis Group, 2006.
15. Vilcheck, W.S., Gonzalez, D. A. *Measurements and simulations-combined for state-of-the-art harmonik analysis*. in *Industry Applications Society Annual Meeting, 1988., Conference Record of the 1988 IEEE*. 1988.
16. A. Kusko, and M.T. Thompson, *Power Quality in Electrical Systems*, United States of America: McGrawHill, 2007..
17. Liew, *Excessive Neutral Current in Three phase power Distribution System*, IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 25. No.4, July/August, 1989, pp 776-792.
18. CBEMA, *Information Letter*, CBEMA, ESC-3 Committee, CBEMA, 31 I First, N.W, Suite 500, Washington DC 20001, 1994.
19. Robert. L Almonte and A. Wayne Ashley, *Harmonic at The Illtity Industrial Interjace: A real World Example*, IEEE Trans. Ind. Appl.Vol. 31. No.6, July/August, 1995, pp 336-341.
20. Roger , C.D., *Electrical Power Sistem Quality*. 2004. 2.
21. Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan and H. Wayne Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, Mc Graw-Hill, 1996.
22. V.E. Wagner, J.C. Balda, D.C. Griffith, A. McEachern, T.M. Barnes, D.P. Hartmann, D.J. Phileggi, A.E. Emmanuel, W.F. Horton, W.E. Reid, R.J. Ferraro,W.T.Jewell, *Effect of Harmonics on Equipment*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 2, April 1993, pp. 672-680.
23. Dalila M.S., Khalid M.N., Md Shah M., *Distribution transformer losses evaluation under nonlinear load*, Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'09), Adelaide, SA: Sept. 27-30, 2009, pp. 1-6.
24. *IEC 72-1 Power Transformers; Part 1: General*, 1993-03 second edition, 1993.

25. Betta, G., Pietrosanto A., and Scaglione A., *An enhanced fiber optic temperature sensor system for power transformer monitoring*, Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2000. IMTC 2000. Proceedings of the 17th IEEE ,Vol.1, 1-4 May 2000, pp.153-158.
26. Chu D., Lux, A., *On-line monitoring of power transformers and components: a review of key parameters*, Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, 1999. Proceedings, October 1999, 26-28 pp. 669 – 675.
27. Feng J.Q., Sun P., Tang W.H., Buse D.P., Wu Q.H., Richardson Z., and Fitch J., *Implementation of a power transformer temperature monitoring system*, International Conference on Power System Technology, 2002. Proceedings Power Con 2002.,Vol. 3, 13-17 Oct. 2002, pp.1980 – 1983..
28. Harris D., and Saravolac M.P., *Condition monitoring in power transformers*, Condition Monitoring of Large Machines and Power Transformers (Digest No: 1997/086), IEE Colloquium on, 19 June 1997, pp. 7/1 - 7/3.
29. Lachman M.F., Griffin P.J., Walter W., and Wilson A., *Real-time dynamic loading and thermal diagnostic of power transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery ,Vol. 18 , Issue: 1, 8 Jan 2003, pp.142-144.
30. Leibfried T., *Online monitors keep transformers in service*, Computer Applications in Power, IEEE ,Vol.11 , Issue: 3, July 1998 , pp.36 – 42.
31. Lesieutre B.C., Hagman W.H., Kirtley J.L.Jr., *An improved transformer top oil temperature model for use in an on-line monitoring and diagnostic system*, IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 12 , Issue: 1, January 1997, pp. 249 – 256.
32. Saravolac, M.P., *The use of optic fibres for temperature monitoring in power transformers*, Condition Monitoring and Remanent Life Assessment in Power Transformers, IEE Colloquium, 1994 pp.7/1 - 7/3.
33. Schäfer M., Kutzner R. and Feser, K., *Condition monitoring system for power transformer*, International Conference on Power System Technology, 2000. Proceedings. PowerCon 2000., Vol.: 3, 4-7 Dec. 2000, pp. 1701 – 1705.

34. Tenbohlen S., Stirl T., and Stach M., *Assessment of overload capacity of power transformers by on-line monitoring systems*, Power Engineering Society Winter Meeting, 2001-IEEE , Vol. 1, 28 Jan.-1 Feb. 2001, pp.329 – 334.
35. B.C. Lesieutre W.H. Hagman J.L. Kirtley Jr. , *An Improved Transformer Top Oil Temperature Model for Use in An On-Line Monitoring and Diagnostic System*, IEEE Trans. on Power Delivery, vol.12, no.1, Jan 1997 pp.249-256.
36. V.V Karasev, *The Dependence of losses in transformer tanks upon current, Frequency and Temperature*, All-Union Electro Institute, vol. 79, pp. 628-636.
37. P.T. Staats, W.M. Grady, A. Arapostathis, R. S. Thallam, *A Procedure for Derating a Substation Transformer in the Presence of Widespread Electric Vehicle battery Charging*, IEEE Trans. on Power Delivery, vol.12, No.4, Oct 1997, pp.1562-1568.
38. L. Pierrat, M.J. Resende, J. Santan, *Power Transformers Life Expectancy under Distorting Power Electronic Loads*, Proceedings of ISIE 96, Vol.2, Jun. 96, pp.578-583.
39. Electra, *Direct Measurements of the Hot-Spot Temperature of Transformers*, CIGRÉ WG 12–09, vol. 129, 1990.
40. Lampe W., Pettersson L., Ovren C.,and Wahlström B., *Hot-Spot Measurements in Power Transformers*, Cigre, Rep. 12-02, International Conference on Large High Voltage Electric Systems, 1984 Session, 29<sup>th</sup> August-6<sup>th</sup> September 1994.
41. Nordman H., Hironniemi E., and Pesonen A.J., *Determination of hot-spot temperature rise at rated load and at overload*, CIGRE Paper 12-103,1990.
42. Nordman H., and Lahtinen M., *Thermal overload tests on a 400-MVA power transformer with a special 2.5-p.u. Short time loading capability*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18 , Iss. 1, Jan 2003, pp.107 - 112.
43. Nordman H., Rafsback N., and Susa, D., *Temperature responses to step changes in the load current of power transformers*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18 , Iss. 4, Oct. 2003, pp.1110 - 1117.

44. Räfsbäck N. T., *Short-time emergency overloading of power transformers, Bachelor thesis*, Power transformer company, ABB, 2001.
45. Simonson E.A., and Lapworth J.A., *Thermal capability assessment for transformers*, Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment 1995, Mar 1995, 29-31 pp.103 – 108.
46. Radakovic Z.,Feser K., *A new method for the calculation of the hot-spot temperature in power transformers with ONAN cooling*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 18 , Iss. 4, October 2003, pp.1284-1292.
47. *IEC 354-1991 Loading Guide for Oil-immersed Power Transformer* 1991.
48. Tylavsky D.J., Qing He, Jennie Si, McCulla G.A., Hunt J.R., *Transformer top-oil temperature modeling and simulation*, IEEE Transactions on Industry Applications, Vol.36, Iss.5, Sept.-Oct.2000, pp 1219 – 1225.
49. *IEEE Std C57.91-1995 IEEE guide for loading mineral-oil- immersed transformers*. 1995.
50. Martin J. Heathcote, *J&P Transformer Book*, 12<sup>th</sup> ed. Elsevier Science Publishers, pp. 945, 2003.
51. Karsai K., Kerényi D., and Kiss L., *Large Power Transformers*," Elsevier Science Publishers, pp 607, 1987.
52. Declercq J., and Van der Veken W., *Accurate hot spot modeling in a power transformer leading to improved design and performance*, Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE ,Vol. 2 , , April 1999 ,11-16 pp. 920-924.
53. Electra, *A survey of facts and opinions on the maximum safe operating temperature of power transformers under emergency condition*, CIGRÉ WG 12– 09, vol. 129, 1990.
54. Blume L. F., Boyajian A., Camilli G., Lennox T. C., Minneci S., and Montsinger V. M., *Transformer Engineering – 2<sup>nd</sup> edition*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1951.
55. *IEC 72-2 Power Transformers; Part 2: Temperature rise*, 1994-04 second edition.

56. A.P.S. Meliopoulos, M.A. Martin Jr., "Calculation on Secondary Cable Losses and Ampacity in the Presence of Harmonics". IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 7, No. 2, April 1992, pp. 451 – 459.
57. F.L. Tofoli, S.M.R. Sanhueza, and A. de Oliveira, *On the Study of Losses in Cables and Transformers in Nonsinusoidal Conditions*. IEEE Transaction on Power Delivery, Vol. 21, No. 2, April 2006, pp. 971-978.
58. J.P. Brozek, *The effects of harmonics on overcurrent protection devices*, Conference Record of the 1990 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Vol. 2, Oct. 7-12, 1990, pp. 1965-1967.
59. IEEE Working Group on Power System Harmonics, *Power System Harmonics: An Overview*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems: Vol. PAS-102, No. 8, August 1983, pp. 2455-2460.
60. A.E. Emanuel, M. Yang, D.J. Pileggi, *The Engineering Economics of Power Systems Harmonics in Distribution Feeders. A Preliminary Study*, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 6, No. 3. August 21, 1991, pp. 1092-1098.
61. T.M Gruz, *A Sumey of Neutral Currcnt in The Three Phase Computer Power System*, IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 26. No.2, July/Augusfl, 1990, pp 719-725.
62. A. Ametani, *Generalked Method of Harmonh Reduction in AC-DC Converter by harmonic Current Injection*, proc. IEE, 199, italy,1972, pp g75- 864.
63. Fang Zheng Peng and Hirofumi Agaki, *New Approach to Harmonic Compensation in Power System - A Combined System of Shunt passive and Setues Active Penapis*, IEEE Trans. Ind. Appl. Vol. 26. No.6, July/August, 1990, pp 893-990.
64. R.L Smity dan P.P Stanford, *Power System Harmonic Efects from Adjustable Speed Driver*, ,IEEE Trans. Ind. Appl. Vol.IA-20. No.4 , July/August, 1 984, pp 973-977.
65. C. Sankaran, *Power Quality*, Boca Raton, Florida: CRC Press, 2002.
66. Parasad N. Enjeti, *Analysis and Design of a New Active Penapis to Cansel Neutral Current Harmonic in Three Phase Four-Wire Electric Power Distribution Syatem*, IEE Trans. Ind Appl. Vol. 30. no. 6, October/November, 1994, pp 1565-1571.

67. G. Swift, T. S. Molinsky, R. Bray, R. Menzies, *A Fundamental Approach to Transformer Thermal Modeling- Part II: Field Verification*, IEEE Transaction On Power Delivery, vol 16, no 2, April 2001, pp 171-180.
68. *Adaptive Transformer Thermal Overload Protection, Final Report of IEEE Power System Relaying Committee Working Group K3*, IEEE Power Engineering Society Power System Relay Committee Report, January, 1999.
69. J. Aubin, R. Bergeron, and R. Morin, *Distribution Transformer Overloading Capability Under Cold-Load Pickup Conditions*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, Iss. 4, October 1990, pp. 1883-1891.
70. Alegi, G.L., and Black W.Z., *Real-time thermal model for an oil-immersed, forced-air cooled transformer*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, Iss. 2, April 1990, pp.991-999.
71. Blake H. John, and Kelly J. Edward, *Oil-Immersed Power Transformer Overload Calculation by Computer*, IEEE Power Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-88, August 1969, pp. 1205
72. Arrillaga, J., Watson, N. R., Chen, S *Power System Quality Assessment : 200 :* John Wiley.
73. Ache, E., Madrigal, M, *Power System Harmonics : Computer Modelling and Analysis, . 2001:* John Wiley