



**FAKULTI KEJURUTERAAN ELEKTRIK  
UNIVERSITI TEKNIKAL MALAYSIA MELAKA**

**LAPORAN PROJEK SARJANA MUDA  
( PSM II )  
BEKU4983**

**OSCILOSKOP DIGITAL BERASASKAN KOMPUTER**

**ABDUL HAFIZ BIN ABDUL HAMID  
B010310028**

**PENYELIA  
PN. MAASPALIZA BINTI AZRI**

**7 MEI 2007**

raf

TK5102.5 .A42 2007



0000043520

Osciloskop digital berasaskan komputer / Abdul Hafiz  
Abdul Hamid.

“Saya akui bahawa saya telah membaca karya ini pada pandangan saya karya ini  
adalah memadai dari skop dan kualiti untuk tujuan penanugerahan ijazah Sarjana  
Muda Kejuruteraan Elektrik (Kuasa Industri).”

Tandatangan : ..... 

Nama Penyelia : PN MAASPALIZA BINTI AZRI

Tarikh : 3 Mei 2007 .....

**OSCILOSKOP DIGITAL BERASASKAN KOMPUTER**

**ABDUL HAFIZ BIN ABDUL HAMID**

**Laporan Ini Dikemukakan Sebagai Memenuhi Sebahagian Daripada Syarat  
Penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektrik (Kuasa Industri)**

**Fakulti Kejuruteraan Elektrik  
Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia**

**Mei 2007**

**“Saya akui laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya saya jelaskan sumbernya.”**

Tandatangan : .....  .....

Nama : ABDUL HAFIZ BIN ABDUL HAMID

Tarikh : 3 Mei 2007 .....

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah syukur kehardat Allah S.W.T. keatas pertolongannya yang membuatkan saya dapat menyiapkan projek yang menjadi syarat bagi seseorang pelajar menjadi graduan ijazah serta mengatasi masalah yang saya hadapi sepanjang proses menyiapkan projek ijazah sarjana muda ini. Jutaan penghargaan kepada ahli keluarga yang juga turut membantu terutamanya ibu dan ayah yang telah memberikan dorongan serta bantuan keewangan yang tidak terbalas. Tidak dilupakan kepada En. Abdul Rahim Bin Abdullah dan Pn. Maaspaliza Binti Azri selaku penyelia projek yang tidak pernah jemu telah meluangkan masa, mencurahkan ilmu pengetahuan dan membantu menyelesaikan masalah yang saya hadapi ketika menyiapkan projek ini. Pihak pengurusan Universiti Teknikal Malaysia Melaka khasnya juruteknik-juruteknik yang juga memberikan khidmat nasihat serta kerjasama sepenuhnya. Akhir sekali ribuan terima kasih kepada rakan-rakan dan kepada sesiapa sahaja yang terlibat secara langsung atau tidak langsung membantu menjayakan projek saya ini.

## ABSTRAK

Osiloskop telah digunakan secara meluas pada zaman yang pesat membangun, osiloskop adalah satu peralatan pengukuran yang sangat penting terutamanya dalam bidang kejuruteraan. Namun begitu terdapat beberapa kelemahan pada osiloskop yang terdapat di pasaran. Osiloskop yang bakal dihasilkan ini dapat mengatasi beberapa masalah dan sangat pratikal pada dunia sebenar. Antara kelebihan utama osiloskop ini ialah bentuk isyarat gelombang yang dihasilkan lebih stabil dan jelas, menghasilkan kos osiloskop yang rendah serta berkebolehan menyimpan bacaan serta isyarat gelombang yang diukur pada bila-bila masa oleh pengguna. Menggunakan komputer sebagai osiloskop adalah satu projek yang terdiri daripada 30% perkakasan dan 70% perisian. Perisian yang digunakan adalah "*visual basic 6.0*" dan menggunakan "*Data Acquisition (DAQ) Card*" sebagai pengantara diantara perkakasan dengan komputer. Isyarat yang hendak diukur akan melalui transduser voltan yang terdiri daripada pembahagian voltan bagi membolehkan arus yang kecil melalui DAQ. Seterusnya isyarat gelombang tersebut dianalisa oleh perisian "*Visual Basic 6.0*" dan dipaparkan pada layar komputer. Data yang diperolehi dapat disimpan dan digunakan pada bila-bila masa. Projek ini dapat berfungsi seperti osiloskop yang sedia ada iaitu dapat mengukur serta memaparkan isyarat gelombang voltan dan dapat mengetahui parameter-parameter penting seperti frekuensi, tempoh masa, nilai puncak, nilai purata, nilai rms dan sebagainya. Osiloskop ini mempunyai 2 masukan (*Channel*), kepekaan 2 mV/Div – 5 V/Div dalam 11 julat (*sensitivity*), masa maksima 50 microsec/Div - 250 milisec/Div dalam 12 julat. Julat frekuensi adalah diantara 0 – 6kHz dan voltan masukan diantara 0 – 40volt.

## ABSTRACT

In this developing era oscilloscopes have been use widely. Oscilloscope is one of the vital measuring instruments especially in the engineering field. However, traditional oscilloscope has several weaknesses. This pc based digital oscilloscope is very practical and develops to overcome several problems of the traditional oscilloscope. Some of advantages of this oscilloscope are a large high-resolution display, a low-cost oscilloscope and ability to hold or retain a signal in memory for long period. This project is based on 30% of hardware development and 70% of software. Visual basic 6.0 will be use as software and data acquisition (DAQ) card to interface the hardware to the computer. The measured signal will pass through the voltage transducer with voltage divider to minimize the voltage tolerable to the data acquisition (DAQ) card specification. This signal will then be analyzing by the software visual basic 6.0 and will be displayed on the computer screen. The measured parameters can be stored and used in real time. This project will able to measure and display parameters such as frequency, time period, peak value, average value, rms value and others. Besides that, this oscilloscope will be also able to measure and display spectrum signal in domain frequency. This oscilloscope will have 2 channels, voltage sensitivity 2 mV / Div – 5 V / Div in 11 steps, time sensitivity 50 microsec / Div - 250 milisec / Div in 12 steps, frequency range 0 – 6kHz and input voltage 40volt.

## ISI KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>
	<b>TAJUK PROJEK</b>	i
	<b>PERAKUAN</b>	ii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iii
	<b>ABSTRAK</b>	iv
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	vi
	<b>SENARAI JADUAL</b>	ix
	<b>SENARAI RAJAH</b>	x
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xiii
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xiv
<b>I</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Objektif	2
	1.2 Skop	3
	1.3 Penyataan Masalah	3
	1.4 Metodologi	4
<b>II</b>	<b>Kajian Literatur</b>	
	2.1 <i>Harmonic Measurements Using a Digital Storage Oscilloscope</i> (JOHN K, WINN, JR and DARYLD RAY CROW)	7
	2.2 <i>Investigating Sampling And Quantization Using A Digital Storage Oscilloscope</i> (J.W.Pierre and R.F Kubichek)	9
<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>HALAMAN</b>



### III ISYARAT GELOMBANG ULANG ALIK

3.1	Pengenalan	11
3.2	Penjanaan Gelombang Ulang-Alik (AC)	12
3.2.1	Frekuensi ( f )	14
3.2.2	Tempoh Masa ( T )	14
3.2.3	Nilai Amplitud ( $E_m$ )	15
3.2.4	Nilai Puncak ke Puncak ( $E_{p-p}$ )	16
3.2.5	Nilai Puncak ( $E_p$ )	16
3.3	Persamaan Asas Gelombang Sinus	16
3.3.1	Halaju Sudut ( $\omega$ )	18
3.3.2	Pengukuran Radian	18
3.4	Persamaan voltan dan arus dalam domain masa	19
3.4.1	Hubungan diantara halaju Sudut, $\omega$ tempoh masa, T Dan frekuensi, f	19
3.4.2	Gelombang sin voltan dan arus dalam domain masa	20
3.4.3	Perbezaan fasa diantara voltan dan arus	20
3.4.4	Nilai purata gelombang sin	22

### IV OSILOSKOP

4.1	Sejarah	24
4.2	Binaan Asas Tiub Sinar Katod	25
4.3	Fungsi	27
4.3.1	Skrin	27
4.3.2	Suis kawalan mendatar	28
4.3.3	Suis kawalan menegak	28

### BAB PERKARA

### HALAMAN

<b>V</b>	<b>PEMBANGUNAN PROJEK</b>	
5.1	Perkakasan	30
5.1.1	Tranduser Voltan	30
5.1.2	<i>Data Acquisition (DAQ) Card</i>	31
5.2	Perisian	33
5.2.1	<i>Visual Basic</i>	33
<b>VI</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISA</b>	
6.1	Keputusan Projek	37
6.1.1	Suis Kawalan Mendatar (Masa / Bahagian) dan Suis Kawalan Menegak (Voltan / Bahagian)	41
6.1.2	Suis Mod ( <i>Mode</i> )	42
6.1.3	Penunjuk ( <i>cursor</i> )	44
6.1.4	Senarai Paparan	45
6.1.5	Pelaras Keamatan Dan Fokus	46
6.1.6	Animasi	49
6.1.7	Simpanan Data	50
6.2	Analisa Projek	53
6.2.1	Pengenalan Analisa	53
6.2.2	Kesimpulan Analisa	56
<b>VII</b>	<b>KESIMPULAN DAN CADANGAN</b>	58
	<b>RUJUKAN</b>	60
	<b>LAMPIRAN A - B</b>	61 – 88

**SENARAI JADUAL**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
3.1	Nilai sudut dan voltan daripada persamaan 3.4	17
3.2	Sudut dalam unit darjah dan radian	19
5.1	Spesifikasi <i>Data acquisition (DAQ) Card</i> (masukan analog)	33
6.1	Fungsi butang pada osiloskop	37
6.2	Purata bacaan yang diperolehi daripada Rajah 6.12 dan 6.13	56

## SENARAI RAJAH

NO	TAJUK	HALAMAN
1.1	Carta alir metodologi projek	5
2.1	(a) Bentuk isyarat gelombang dalam domain masa. (b) Bentuk isyarat gelombang dalam domain frekuensi.	7
3.1	Isyarat gelombang ulang-alik	11
3.2	Penjana AC mudah	12
3.3	Lakaran Gelombang Sinus daripada hasil putaran dawai gelung tunggal dalam medan magnet tunggal	13
3.4	Gelombang sinus dalam domain masa	13
3.5	(a) Satu kitar dalam satu saat bersamaan dengan 1 Hz dan (b) Dua kitar dalam satu saat bersamaan dengan 2 Hz	14
3.6	Jumlah tempoh masa, $T$ dalam suatu isyarat gelombang	15
3.7	Perbezaan nilai dalam dua isyarat gelombang	16
3.8	(a) gelombang sin dalam skala darjah. (b) gelombang sin dalam skala radian	18
3.9	(a) Gelombang sin dianjakkan ke kiri. (b) Gelombang sin dianjakkan ke kanan	21
3.10	(a) isyarat gelombang voltan, $v$ mendahului isyarat gelombang arus, $i$ . (b) isyarat gelombang voltan, $v$ mengekor isyarat gelombang arus, $i$	21
3.11	(a) nilai purata gelombang sin separuh (b) nilai purata gelombang sin penuh	23
4.1	Karl Ferdinand Braun	24
4.2	Osiloskop analog	25
4.3	Osiloskop digital	25
NO	TAJUK	HALAMAN

4.4	Tiub sinar kator	26
4.5	Skrin	28
4.6	(a) Suis kawalan mendatar.(b) Suis kawalan menegak	29
5.1	Gambarajah skematik untuk pembahagian voltan pada tranduser	31
5.2	Penukaran isyarat gelombang analog kepada digital	32
5.3	Carta alir pembangunan perisian projek	35
5.4	Keseluruhan projek	36
6.1	Hasil rekabentuk " <i>graphic user interface (GUI)</i> "	40
6.2	Isyarat gelombang voltan yang diukur menggunakan PC Skop	42
6.3	(a) kedudukan suis mod pada kedudukan CH 1. (b) kedudukan suis mod pada kedudukan CH 2. (c) kedudukan suis mod pada kedudukan <i>DUAL</i> . (d) kedudukan suis mod pada kedudukan <i>ADD</i> .	44
6.4	Mengukur tempoh masa satu isyarat gelombang dengan menggunakan penunjuk ( <i>cursor</i> )	45
6.5	Senarai paparan memaparkan parameter-parameter satu isyarat gelombang voltan.	46
6.6	Tombol keamatan ( <i>intensity</i> ) dan tombol fokus	46
6.7	Perbezaan warna <i>cursor</i> bagi masukan 1 dan masukan 2	47
6.8	(a) dan (b) Perubahan warna isyarat gelombang voltan yang dikawal oleh tombol keamatan ( <i>intensity</i> ) dan perubahan warna <i>cursor</i> yang dikawal oleh butang khas.	48
6.9	(a) dan (b) Perbezaan ketajaman isyarat gelombang yang dikawal oleh tombol fokus	49
6.10	Gambar animasi yang direkabentuk untuk membantu pengguna menggunakan osiloskop	50
6.11	Data dan bentuk isyarat gelombang yang disimpan menggunakan osiloskop digital dalam format ".bmp"	51
6.12	Data dan bentuk isyarat gelombang yang disimpan menggunakan PC Skop ".bmp"	52
<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>

- 6.13 (a), (b), (c), (d) dan (e): Hasil bacaan yang diperolehi daripada isyarat gelombang yang dihasilkan oleh *Function Genetator* menggunakan Digital Osiloskop 54
- 6.14 Hasil bacaan yang diperolehi daripada isyarat gelombang yang dihasilkan oleh *Function Genetator* menggunakan PC skop 55

**SENARAI SINGKATAN**

VOM	-	<i>Volt – Ohm – Miliammeter</i>
NI	-	<i>National Instrument</i>
DAQ	-	<i>Data Acquisition</i>
GUI	-	<i>Graphic User Interface</i>
FFT	-	<i>Fast Fourier Transform</i>
AC	-	<i>Alternating Current</i>
ADC	-	<i>Analogue Digital Converter</i>
BASIC-		<i>Beginners' All-purpose Symbolic Instruction Code</i>
D.G.E	-	Daya Gerak Elektrik

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A	Specifikasi Perkakasan (NI-DAQ)	61
B	Aturcara Asas Projek	86



## **BAB I**

### **PENGENALAN**

Projek Sarjana Muda (PSM) adalah satu kajian ilmiah yang berkaitan dengan bidang kajian di fakulti yang mesti disediakan oleh pelajar tahun akhir sebagai memenuhi syarat bagi penganugerahan Ijazah Sarjana Muda. Matlamatnya adalah untuk mempertingkatkan pengetahuan dan kemahiran pelajar dalam menyelesaikan masalah secara penyelidikan ilmiah bagi melahirkan ahli teknologi yang kompeten dan produktif.

Tajuk osiloskop digital berasaskan komputer yang juga bermaksud menggunakan komputer sebagai osiloskop digital telah dipilih kerana ia sangat menarik untuk dipelajari. Pelbagai pengetahuan dapat diperolehi dalam menyiapkan projek ini, antaranya mengenai perisian dan perkakasan serta bagaimana untuk menghubungkan keduanya. Pengetahuan ini sangat diperlukan pada zaman kini khususnya bagi pengguna elektronik dimana penggunaan komputer sebagai alat kawalan, pantauan atau pengukuran yang sedang berkembang dengan begitu pantas.

Dalam industri pada masa kini terdapat pelbagai sistem kawalan elektronik yang menghasilkan isyarat atau denyut yang atau lebih dikenali sebagai VOM "*volt – ohm – miliammeter*". Menjadi suatu keperluan bagi pengguna-pengguna elektronik untuk mengetahui bukan sahaja nilai daripada isyarat atau denyutan voltan yang diukur tetapi tempoh masa dan frekuensi. Seseengah isyarat atau denyutan dalam sistem elektronik adalah kurang daripada 1 volt dan tempoh masa dalam milisaat. Adalah sebab ini

osiloskop menjadi suatu alat pengukuran yang sangat berguna bagi mempelajari serta menganalisa litar-litar elektronik.

Osiloskop adalah sebuah alat pengukuran yang dapat mengukur isyarat gelombang voltan dan tidak dapat mengukur arus, kuasa dan rintangan. Osiloskop juga dapat memaparkan isyarat gelombang voltan melawan masa dalam dua dimensi daripada isyarat gelombang yang dipaparkan dapat diperolehi parameter – parameter penting seperti nilai puncak, puncak ke puncak, punca kuasa dua (rms), purata (avg), frekuensi, tempoh masa dan sebagainya. Mengukur dan mengetahui parameter pada isyarat gelombang voltan yang diukur akan membolehkan pengguna dapat menganalisa isyarat gelombang tersebut.

### **1.1 Objektif**

Perlaksanaan projek sarjana muda iaitu menggunakan komputer sebagai osiloskop yang akan dihasilkan ini adalah bagi mencapai beberapa objektif seperti berikut:

1. Menghasilkan kos yang rendah berbanding dengan digital osiloskop.
2. Dapat memaparkan isyarat gelombang voltan mengikut masa dalam dua dimensi.
3. Dapat menganalisa isyarat gelombang dengan memberikan bacaan parameter-parameter yang diperlukan seperti nilai punca purata ganda dua (rms) , nilai purata (avg), nilai puncak (peak), nilai frekuensi, tempoh masa, perbezaan fasa ( phase shift ) dan sebagainya.
4. Dapat menyimpan bentuk isyarat gelombang serta parameter-parameter yang diperolehi dalam bentuk ".bmp" pada masa yang telah ditetapkan

5. Data serta isyarat gelombang yang telah disimpan dapat dianalisa oleh pengguna pada bila-bila masa.

## 1.2 Skop

Skop projek adalah menggunakan “ *Data Acquisition (DAQ) Card* ” sebagai pengantaraan (*interfasing*) diantara perkakasan dan perisian yang disambungkan kepada komputer menggunakan sambungan USB, fungsi DAQ ialah sebagai penukaran isyarat iaitu menerima isyarat analog dan menukarkan isyarat tersebut kepada isyarat digital. Seterusnya menggunakan perisian “ *Visual Basic 6.0* ” yang akan menukar semula isyarat digital kepada isyarat analog dan akan memproses serta memaparkannya pada layar komputer.

Osiloskop yang akan dihasilkan ini mempunyai 2 masukan (*Channel*), julat voltan masukan diantara 0 – 40 Volt, julat frekuensi yang dapat diukur diantara 0 – 6kHz, frekuensi (*sampling*) 40kS/s, kepekaan (*sensitivity*) voltan diantara 2 mV / bahagian – 5 V / bahagian dalam 11 julat, kepekaan masa diantara 50 microsaat / bahagian - 250 milisaat / bahagian dalam 12 julat

## 1.3 Penyataan Masalah

Osiloskop analog yang digunakan sekarang mempunyai beberapa masalah, antara masalah utama pada osiloskop analog ialah tidak berkebolehan mengukur isyarat gelombang yang mempunyai frekuensi rendah iaitu diantara 10 – 100 Hz, Isyarat yang dipaparkan berkualiti rendah.

Dengan terhasilnya osiloskop digital masalah ini dapat diatasi iaitu dapat mengukur isyarat rendah dan isyarat yang dihasilkan lebih berkualiti. Namun begitu

terdapat masalah lain pada osiloskop digital iaitu ruang untuk menyimpan data yang diperolehi adalah terhad, saiz yang besar dan kosnya yang tinggi.

Menggunakan komputer sebagai osiloskop berbanding dengan osiloskop digital yang sedia ada mempunyai banyak kelebihan. Menggunakan komputer sebagai osiloskop berkebolehan menggunakan ruang simpanan yang lebih besar (*memory*), memproses data dengan cepat, memaparkan isyarat yang berkualiti tinggi (*resolution*) dan mempunyai rangkaian yang luas (*network*).

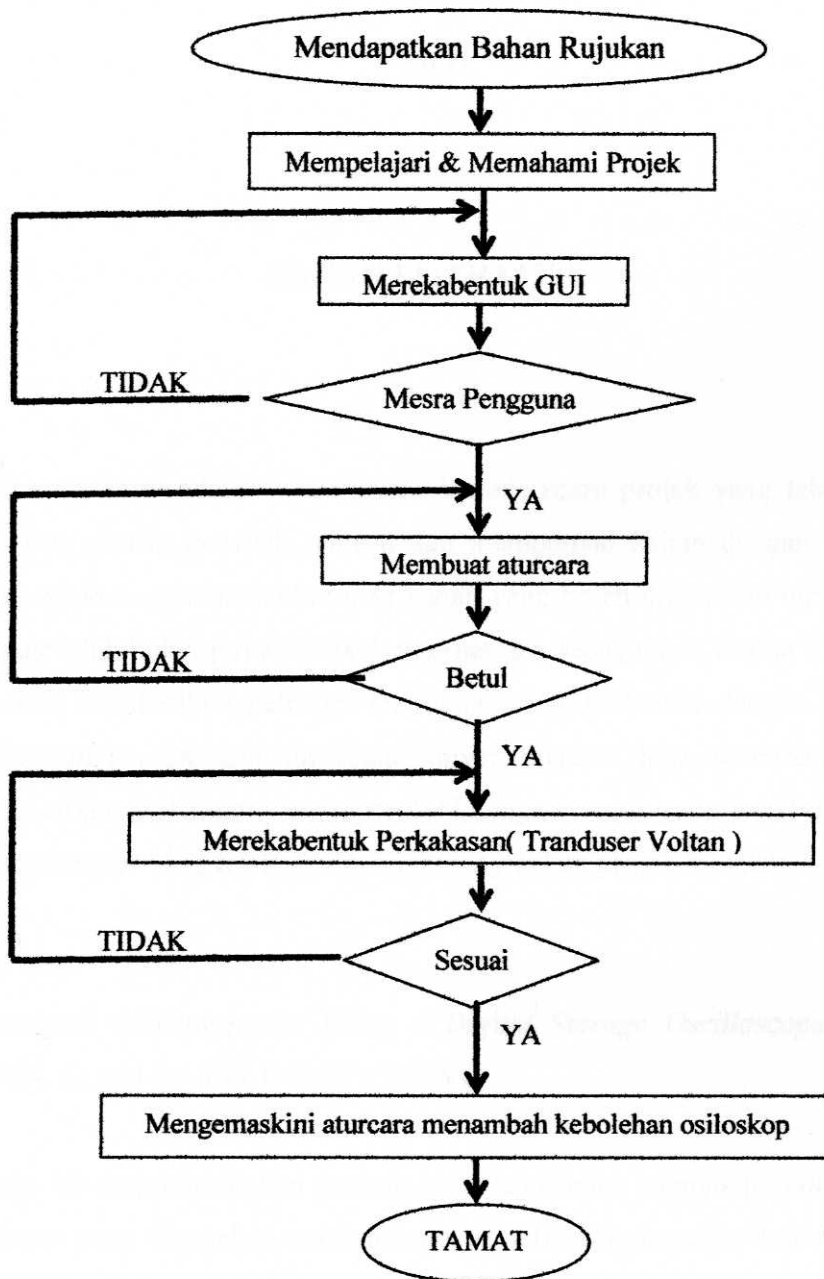
Antara kelebihan-kelebihan lain menggunakan komputer ialah kosnya lebih rendah, mudah untuk menyimpan, memindah dan mencetak isyarat gelombang dan data yang diperolehi dan mudah dialihkan sekiranya menggunakan komputer riba.

#### **1.4 Metodologi**

Metodologi bagi menyiapkan projek ini adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1.1.

- Proses 1 : Sebelum memulakan proses-proses lain langkah pertama yang perlu ialah mendapatkan bahan rujukan yang berkenaan serta membuat perancangan berkenaan perjalanan projek. Perancangan projek dibuat dengan membahagikan keseluruhan projek kepada beberapa fasa.
- Proses 2 : Mempelajari dan memahami tajuk projek dengan membuat kajian literatur daripada pelbagai sumber ilmu seperti buku, jurnal, artikel, internet dan sebagainya. Kajian literatur perlu dibuat supaya dapat menghubungkan maklumat yang diperolehi dengan projek yang hendak dibangunkan. Memahami dengan jelas objektif, skop dan pernyataan masalah projek juga adalah satu yang penting

- Proses 3 : Merekabentuk "*graphic user interface (GUI)*". Dengan menggunakan perisian *visual basic*, GUI mestilah direkabentuk supaya ia mesra pengguna iaitu membolehkan pengguna memahami seterusnya menggunakannya dengan mudah.
- Proses 4 : Merekabentuk aturcara yang dapat memproses isyarat gelombang voltan dan memaparkan parameter-parameter yang diperlukan seterusnya menyimpan data yang diperolehi bagi membolehkan pengguna menganalisa pada bila-bila masa.
- Proses 5 : Merekabentuk dan membina tranduser voltan yang terdiri daripada prmbahagian voltan. Tranduser voltan mestilah direkabentuk supaya ia bersesuaian dengan spesifikasi keperluan *data acquisition (DAQ)*,
- Proses 6 : Mengemaskini aturcara projek dengan menambah kebolehan osiloskop



Rajah 1.1: Carta alir metodologi projek

## BAB II

### KAJIAN LITERATUR

Kajian literatur adalah suatu kajian kepada suatu projek yang telah disiapkan dan kajian yang dipilih mestilah relevan dan mempunyai kaitan dengan projek yang hendak dilaksanakan. Antara sumber atau bahan yang boleh digunakan untuk membuat kajian literatur ialah buku, jurnal, artikel, internet dan sebagainya. Kajian literatur perlu kerana ia akan memberikan pelbagai maklumat yang berkaitan dengan projek yang hendak dibangunkan. Dengan membuat kajian literatur juga seseorang itu dapat menghubungkan maklumat yang diperolehi dengan projek yang bakal dilaksanakan. Antara kajian literatur yang telah dipilih bagi menyiapkan projek ini ialah:

#### 2.1 *Harmonic Measurements Using a Digital Storage Oscilloscope* (JOHN K, WINN, JR and DARYLD RAY CROW)

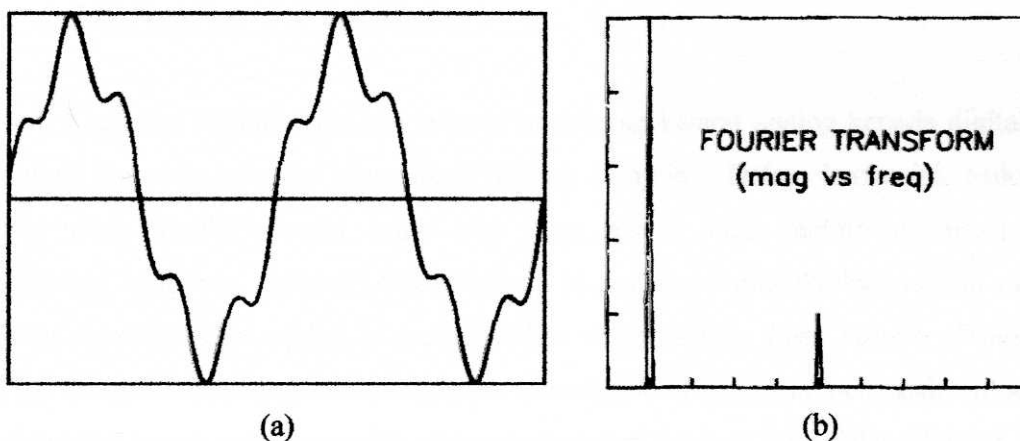
Kertas ini membincangkan tentang keperluan untuk mengukur nilai harmonik, alat pengukuran yang digunakan untuk mengukur harmonik dan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT).

Kualiti isyarat gelombang bermaksud mengekalkan isyarat gelombang rms yang stabil dan sejumlah kecil nilai harmonik yang boleh diabaikan. Dengan menganalisa isyarat gelombang digital dan *Fast Fourier Transform* (FFT), seseorang jurutera dapat mengetahui dengan tepat jumlah harmonik dalam sesuatu sistem itu [4].

Walaupun bagaimanapun, jurutera mestilah memastikan bahawa nilai yang diperolehi itu adalah suatu nilai yang betul. Dengan mengukur nilai harmonik voltan dan arus pada tempat yang strategik akan dapat membantu juruteraan mengenalpasti seterusnya mengurangkan masalah harmonik. Antara masalah pencemaran harmonik yang utama dalam sesuatu sistem kuasa adalah pembetulan faktor kuasa dengan menggunakan kapasitor. Langkah yang baik untuk pengguna mengatasi masalah pencemaran harmonik ialah memastikan nilai kapasitor yang digunakan tidak melebihi had yang sesuai [4].

Peralatan yang sesuai digunakan untuk menentukan nilai harmonik yang tepat ialah osiloskop digital yang berkeupayaan 60 db dan *sampling frequency* 100kHz, dengan menggunakan osiloskop pada julat ini akan memberikan bacaan 1 *ampere* nilai harmonik daripada 1000 *ampere* nilai isyarat yang diukur. Selain daripada itu, nilai kerintangan osiloskop mestilah rendah supaya menghasilkan nilai arus yang tinggi dan julat maksima frekuensi pada osiloskop juga mestilah tidak kurang daripada 10kHz. Kebolehan sesebuah osiloskop supaya dapat disambungkan kepada komputer adalah penting kerana dapat menyimpan data untuk dianalisa pada masa akan datang [4].

*Fast Fourier Transform* (FFT) adalah hasil penukaran suatu bentuk isyarat gelombang daripada isyarat gelombang dalam domain masa (Rajah 2.1a) kepada isyarat gelombang dalam domain frekuensi (Rajah 2.1b).



Rajah 2.1: (a) Bentuk isyarat gelombang dalam domain masa. (b) Bentuk isyarat gelombang dalam domain frekuensi.