

**PENGARUH ARUS HARMONIK TERHADAP
PEMBACAAN METER KWH ANALOG**

Oleh

Koay Boon Kit

**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**

Mac 2005

ABSTRAK

Projek prasiswazah ini dijalankan untuk mengaji pengaruh arus harmonik terhadap pembacaan meter kWh analog. Ia tidak melibatkan penerbitan persamaan yang panjang dan kompleks tetapi analisis dibuat berdasarkan data yang dikumpul melalui ujikaji. Suatu rektifier (yang bebannya terdiri daripada kapasitor boleh laras dan perintang boleh laras) disambung ke meter kWh analog dan meter tersebut pula disambung ke sumber voltan ulang-alik 50Hz, 240V. Rektifier tersebut mewakili beban-beban tidak linear yang digunakan dalam kehidupan seharian kita. Apabila melaraskan kapasitor dan perintang, magnitud arus yang melalui meter kWh dan kandungan harmoniknya akan berubah. Dalam keadaan arus RMS yang malar, perubahan kuasa aktif apabila jumlah herotan harmonik arus meningkat akan dibandingkan. Kuasa aktif yang dimaksudkan ialah kuasa aktif teori dan kuasa aktif yang dikesan oleh kWh meter (hasil kiraan daripada bacaan meter kWh analog). Dalam keadaan arus RMS yang tetap juga, peratus ralat pembacaan meter tersebut akan dikaji apabila kandungan harmonik dalam arus menambah. Sepanjang perjalanan projek ini, sumber voltan dianggap tidak dicemari dengan kandungan harmonik.

ABSTRACT

This final year project deals with effect of harmonic current on reading of analogue kWh meter. In the project, derivation of complex mathematic equation is not included but analysis is made based on the experimental results. A rectifier (which has adjustable capacitor and adjustable resistor connected in parallel as the load) is connected with kWh meter. The meter is then connected with pure sinusoidal voltage source, 50Hz, 240V. The rectifier represents the non-linear loads we use in daily life. When changing the resistance and the capacitance of the loads, the magnitude of the current and the value of total harmonic distortion will change as well. In the situation where the RMS current is not being changed, the change of active power when total harmonic distortion is increased is being compared. The active power refers to that of theoretical active power and that of sensed by the kWh meter. Besides that, the error percentage of kWh meter reading when total harmonic distortion is increased is studied too. In this project, voltage source is assumed not polluted with harmonic content.

PENGHARGAAN

Projek ini dapat disempurnakan kerana terdapatnya bantuan daripada pelbagai pihak. Mula-mula, saya ingin menggunakan kesempatan ini untuk menghulurkan penghargaan kepada penyelia projek saya, iaitu Dr. Ir. Syafrudin Masri. Sepanjang tempoh perjalanan projek, beliau telah memberi bimbingan dan tunjuk ajar yang berkait dengan kaedah perjalanan projek kepada saya. Seterusnya, saya ingin menyuarakan penghargaan kepada En. Ahmad Shaukhi Noor dan En. Jamaluddin Che Mat, yang masing-masing merupakan juruteknik senior dan juruteknik dalam Makmal Kuasa, atas nasihat dan bantuan mereka dalam penyediaan dan pengendalian alat projek. Selain itu, ribuan terima kasih juga saya ingin ucapkan kepada En. Mohd Nazir Abdullah, yang merupakan salah satu tutor, atas masa yang telah diluangkan untuk menghilangkan keraguan saya dalam hal pengendalian alat juga. Akhirnya, ribuan terima kasih juga dituju kepada ibubapa dan rakan-rakan saya atas sokongan mereka yang telah diberi kepada saya untuk menjalakan projek ini.

Segala nasihat, bimbingan, teguran dan kesabaran daripada sekalian akan saya hargai selama-lamanya!

ISI KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGHARGAAN	iv
ISI KANDUNGAN	v
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Objektif.....	1
1.3 Skop Kajian.....	2
1.4 Langkah-langkah Menjalankan Projek.....	2
1.5 Panduan Laporan.....	5
BAB 2 KAJIAN ILMIAH	
2.1 Harmonik.....	6
2.2 Beban Tak Linear.....	13
2.3 Meter kWh analog.....	16
BAB 3 PERLAKSANAAN KAJIAN	
3.1 Perancangan.....	19
3.2 Pemeriksaan Dan Penyelarasan Alat Pengukur.....	21
3.3 Penyambungan Dan Pemasangan Litar.....	22
3.4 Kaedah Pengumpulan Data Primer.....	22
BAB 4 KEPUTUSAN	
4.1 Data Primer.....	23
4.2 Pemprosesan Data (Jadual, Graf Dan Persamaan).....	28
BAB 5 ANALISIS	
5.1 Kesan Arus Harmonik Terhadap Bacaan Meter kWh Analog.....	41
5.2 Kesan Arus Harmonik Terhadap Ralat Bacaan Meter kWh Analog	42
5.3 Persamaan Matematik.....	43

BAB 6 KESIMPULAN	45
RUJUKAN	47
LAMPIRAN A: Spektrum Harmonik Arus, Dan Bentuk Gelombang Arus Dan Voltan	48

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan beban bukan terus dalam kehidupan sehari-hari kita semakin meningkat. Beban-beban tersebut, sebagai contoh, komputer, alat pengering rambut, alat pengecas baterai dan sebagainya, disambung ke bekalan voltan ulang-alik yang gelombangnya berbentuk sinusoid (tanpa herotan). Beban-beban tersebut mempunyai satu kesamaan, iaitu menggunakan rektifier untuk menukarkan arus ulang-alik kepada arus terus. Jadi, apabila bilangan beban bukan terus (yang bersambung ke meter kWh analog dan seterusnya bersambung ke sumber voltan sinusoid) bertambah, herotan pada arus yang mengalir melalui meter kWh juga akan meningkat. Dengan erti kata yang lain, komponen harmonik arus ataupun arus harmonik telah wujud dalam litar.

Dalam keadaan tanpa herotan dan disambung ke sumber voltan yang frekuensinya dan voltan RMSnya tetap, parameter operasi meter kWh analog hanya ialah arus RMS dan sudut fasa antara voltan dan arus. Tetapi, dalam keadaan bentuk gelombang arus terherot, suatu parameter yang baru telah wujud, iaitu komponen harmonik arus, ataupun disebut sebagai arus harmonik. Komponen ini boleh disifatkan dengan parameter jumlah herotan harmonik arus (*total harmonic distortion, THD*). Jadi, projek ini telah dijalankan untuk mengaji pengaruh arus harmonik terhadap pembacaan meter kWh analog. Diharap kepentingan pengguna dan pembekal tenaga elektrik dapat dijaga apabila kemampuan meter kWh analog memberi bacaan yang jitu di bawah keadaan arus diherot diketahui.

1.2 Objektif

1. Dalam keadaan arus RMS yang malar, perubahan kuasa aktif yang dikesan oleh meter kWh analog dibandingkan dengan perubahan kuasa aktif teori apabila jumlah herotan harmonik arus, THD, semakin meningkat.
2. Menganalisis ralat kWh meter apabila jumlah herotan harmonik arus meningkat.

1.3 Skop Kajian

Dalam projek ini, meter kWh analog yang digunakan ialah meter kWh analog jenis aruhan satu fasa (*single phase induction type analog kWh meter*). Meter tersebut akan disambung ke sumber voltan yang dianggap sinusoid tulen (tidak mengalami herotan). Pada masa yang sama, rektifier yang disambung ke meter kWh analog disambung dengan beban kapasitor boleh laras dan perintang boleh laras untuk mendapat arus yang mengalami jumlah herotan harmonik dari 0% ke 80%..

1.4 Langkah-langkah Menjalankan Projek

Muka surat seterusnya menunjukkan carta aliran langkah-langkah yang saya ambil untuk menyempurnakan projek saya. Berikut adalah langkah-langkah yang digunakan untuk mencapai objektif projek.

Langkah pertama yang dijalankan ialah pemahaman tajuk projek saya. Langkah ini dijalankan melalui perbincangan dengan penyelia projek saya. Dalam langkah ini juga, saya juga berusaha memahami cara penyambungan dan operasi alat yang perlu digunakan dalam projek, seperti meter kWh analog, diod (rektifier), alat pengukur lain dan sebagainya.

Dalam langkah kedua, perancangan perjalanan projek telah dibuat. Perancangan tersebut termasuklah langkah-langkah seterusnya, perancangan mengenai litar, data primer yang akan dikumpulkan dan radas yang perlu digunakan.

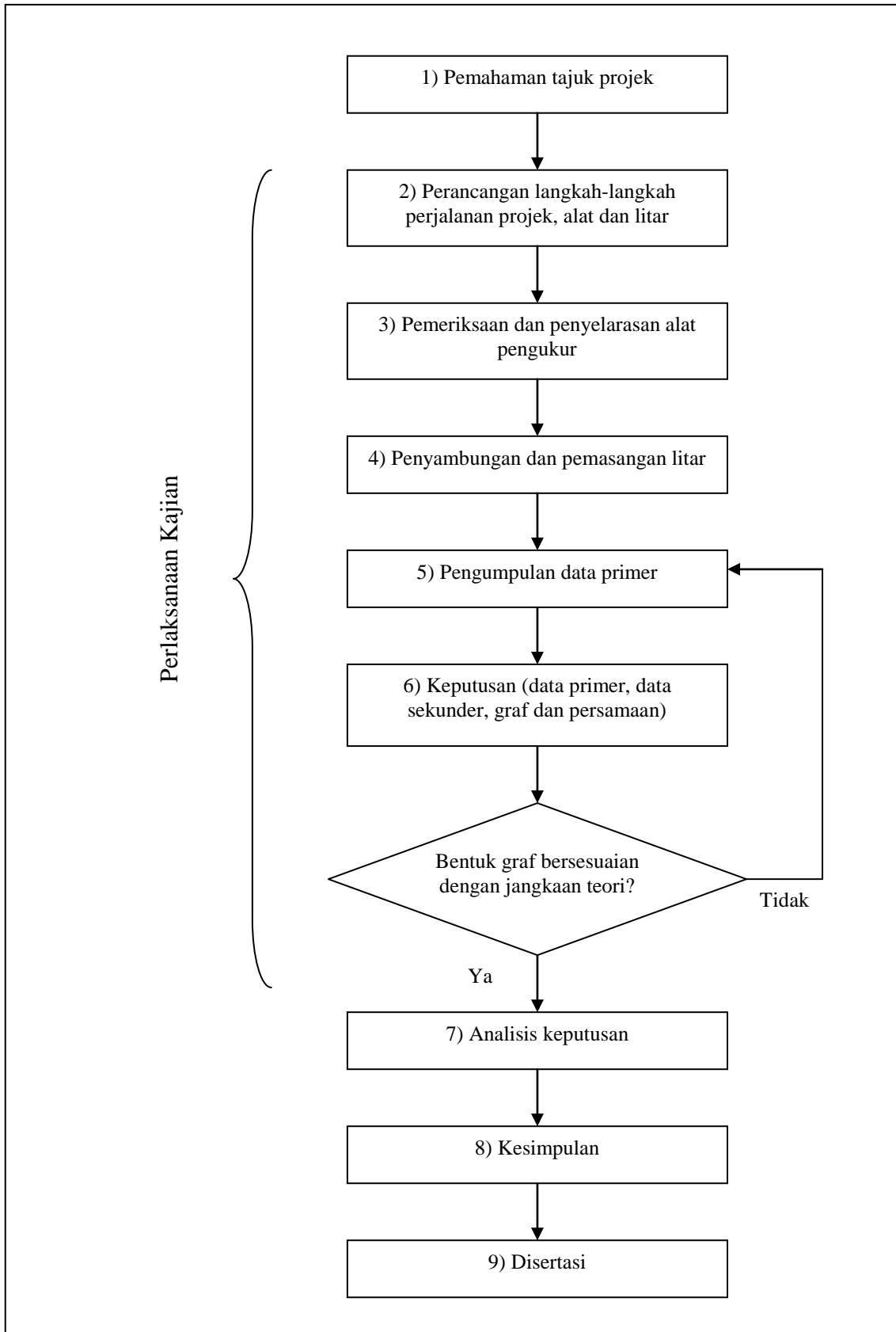
Kemudiannya, dalam langkah ketiga, pemeriksaan dan penyelarasan alat pengukur dilakukan. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan kuasa aktif yang dikesan oleh meter kWh analog adalah sama dengan bacaan meter Fluke 43B untuk beban yang sama. Keputusan daripada pemeriksaan akan menentukan samada penyelarasan pada kedua-dua meter diperlukan.

Dalam langkah keempat, saya menyambungkan dan memasang litar yang diperlukan untuk pengumpulan data primer. Secara amnya, saya menyambungkan kapasitor boleh laras dan perintang boleh laras kepada rektifier (yang terdiri daripada 4 diod) dan rektifier tersebut pula disambungkan ke meter kWh. Meter kWh pula disambung ke sumber voltan ulangalik 240V.

Langkah kelima ialah pengumpulan data primer, iaitu pengukuran bacaan dilakukan. Seterusnya dalam langkah keenam, keputusan diperolehi. Keputusan yang dimaksudkan ialah data primer yang direkodkan, data sekunder yang diproseskan

daripada data primer, persamaan yang diterbitkan dan graf yang diplotkan. Jika bentuk graf bersesuaian dengan jangkaan teori, jadi langkah kelima dan keenam tidak diulangi.

Dalam langkah ketujuh, keputusan dianalisis. Membuat kesimpulan berdasarkan analisis keputusan merupakan langkah kelapan. Dalam langkah terakhir, iaitu langkah kesembilan, disertasi projek akan dihasilkan.



Rajah 1.1: Carta aliran langkah-langkah menjalankan projek

1.5 Panduan Laporan

Laporan ini mengandungi enam bab. Bab 1, iaitu bab ini, merupakan pengenalan kepada tajuk projek dan disertasi ini. Bab 2 pula merupakan kajian ilmiah terhadap tajuk projek ini. Konsep dan pengetahuan yang digunakan dalam projek tahun akhir ini akan dibentangkan. Dalam Bab 3, pelaksanaan kajian dihuraikan secara terperinci yang mungkin. Dari perancangan awal, pelaksanaan kajian diterangkan secara langkah demi langkah sehingga data primer dikumpulkan. Seterusnya, Bab 4 memaparkan data primer yang dikumpulkam dan segala keputusan yang diproses daripada data primer (data sekunder, persamaan, jadual dan graf). Cara untuk mendapat keputusan tersebut turut diberi penjelasan secara langkah demi langkah. Bab 5 ialah bahagian yang menganalisis keputusan-keputusan yang penting dalam Bab 4 untuk mencapai objektif projek. Akhirnya, Bab 6 memberi kesimpulan terhadap projek yang dijalankan.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Harmonik

Harmonik ialah sebarang gelombang sinusoid yang frekuensinya merupakan gandaan secara integer kepada frekuensi asas gelombang. Sebagai contoh, dalam sebuah sistem kuasa yang membekalkan voltan RMS 240V, 50Hz, frekuensi asas merupakan 50Hz, dan gelombang yang mempunyai frekuensi asas ialah gelombang asas. Jika harmonik wujud dalam system tersebut, harmonik kedua ialah gelombang yang mempunyai frekuensi 100Hz (2 X 50Hz) , 150Hz (3 X 50Hz) untuk harmonik ketiga, 200Hz (4 X 50Hz) untuk harmonik keempat dan seterusnya.

Melalui analisis, sebarang gelombang kompleks sebenarnya adalah pertindihan gelombang asas dan gelombang harmonik yang amplitudnya dan sudut fasanya yang berlainan. Gelombang yang mengandungi harmonik boleh diwakili dengan persamaan matematik. Persamaan (2.4) menunjukkan gelombang kompleks, v_0 , yang mengandungi gelombang asas, harmonik kedua dan ketiga.

$$v_1 = V_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) \quad (2.1)$$

$$v_2 = V_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) \quad (2.2)$$

$$v_3 = V_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) \quad (2.3)$$

$$v_0 = v_1 + v_2 + v_3 \\ = V_{1m} \sin(\omega t + \psi_1) + V_{2m} \sin(2\omega t + \psi_2) + V_{3m} \sin(3\omega t + \psi_3) \quad (2.4)$$

di mana,

v_0 = gelombang kompleks

v_1 = gelombang asas

v_2 = harmonik kedua

v_3 = harmonik ketiga

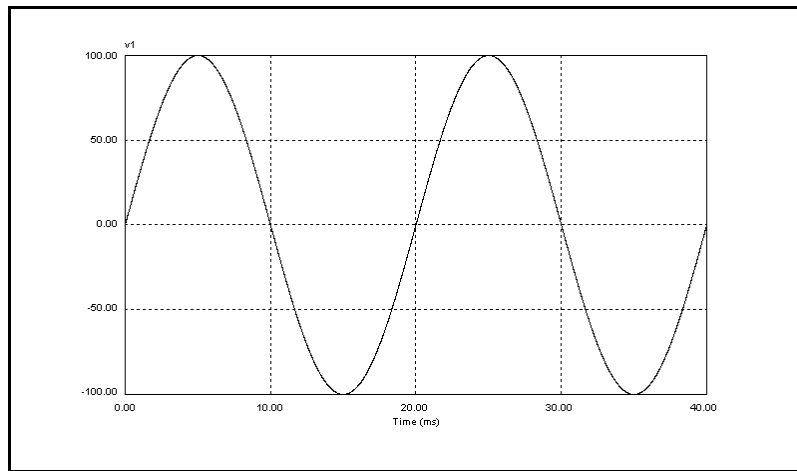
V_{1m}, V_{2m}, V_{3m} = amplitud gelombang

ψ_1, ψ_2, ψ_3 = sudut fasa dengan merujuk kepada v_0

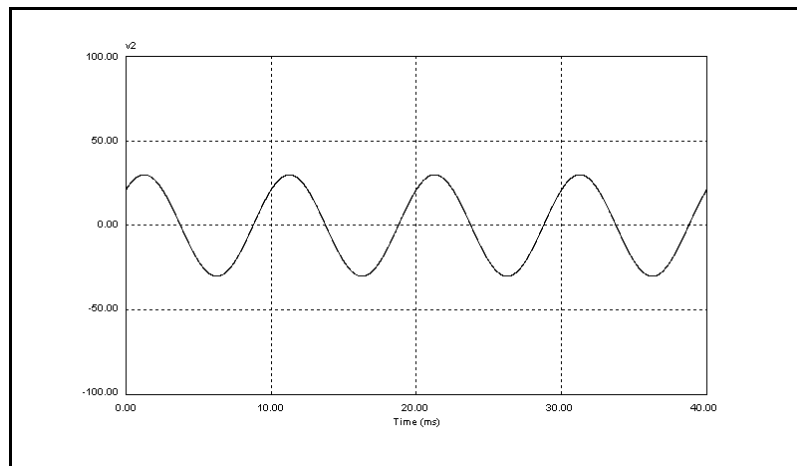
ω = frekuensi asas gelombang

t = masa

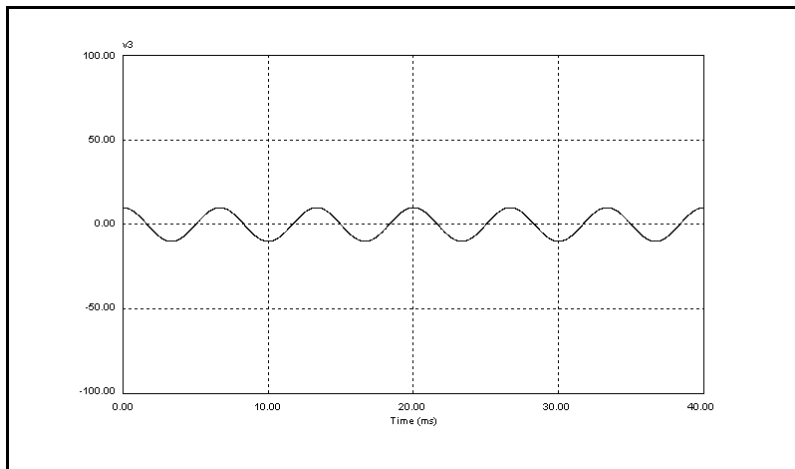
Gelombang asas, harmonik, dan gelombang kompleks juga boleh digambarkan dalam bentuk rajah. Dengan menggantikan, $\omega = 314.16 \text{ rad/s}$, $V_{1m} = 100$, $V_{2m} = 30$, $V_{3m} = 10$, $\psi_1 = 0 \text{ rad}$, $\psi_2 = 0.25\pi \text{ rad}$, $\psi_3 = 0.5\pi \text{ rad}$, Rajah 2.1 menunjukkan bentuk gelombang asas, v_1 , Rajah 2.2 menunjukkan bentuk gelombang harmonik kedua, v_2 , Rajah 2.3 menunjukkan bentuk gelombang harmonik ketiga, v_3 , dan Rajah 2.4 menunjukkan bentuk gelombang kompleks, v_0 , yang merupakan hasil tambah gelombang v_1 , v_2 dan v_3 .



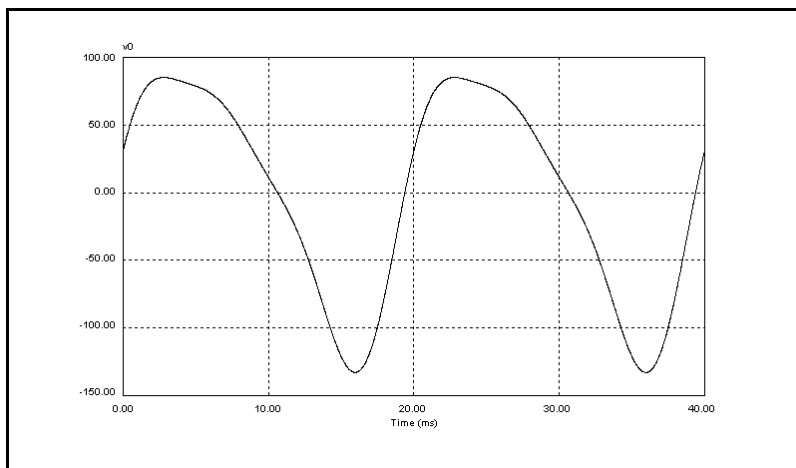
Rajah 2.1: Bentuk gelombang asas, v_1



Rajah 2.2: Bentuk gelombang harmonik kedua, v_2



Rajah 2.3: Bentuk gelombang harmonik ketiga, v_3



Rajah 2.4: Bentuk gelombang kompleks, v_0

2.1.1 Nilai RMS Gelombang Yang Mengandung Harmonik

Suatu gelombang kompleks boleh dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik seperti di bawah, rujukan [4] (Theraja B.L., 1997)

$$i_0 = I_{1m} \sin(\omega t + \phi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \phi_2) + \dots + I_{nm} \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (2.5)$$

Nilai RMSnya, I_{rms} , diberi oleh persamaan,

$$I_{rms} = \sqrt{\text{purata nilai } i_0^2 \text{ dalam satu kitaran}} \quad (2.6)$$

Dari persamaan (2.5),

$$\begin{aligned} i_0^2 &= [I_{1m} \sin(\omega t + \phi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \phi_2) + \dots + I_{nm} \sin(n\omega t + \phi_n)]^2 \\ &= I_{1m}^2 \sin^2(\omega t + \phi_1) + I_{2m}^2 \sin^2(2\omega t + \phi_2) + \dots + I_{nm}^2 \sin^2(n\omega t + \phi_n) \\ &\quad + 2I_{1m}I_{2m} \sin(\omega t + \phi_1) \sin(2\omega t + \phi_2) + 2I_{1m}I_{3m} \sin(\omega t + \phi_1) \sin(3\omega t + \phi_3) + \dots \\ &= I_{pm}^2 \sin^2(p\omega t + \phi_p) + 2I_{pm}I_{qm} \sin(p\omega t + \phi_p) \sin(q\omega t + \phi_q) \end{aligned} \quad (2.7)$$

Anu p dan q bersamaan 1, 2, ..., n. i_0^2 mempunyai dua komponen. Komponen pertama ialah hasil darab harmonik yang sama dan komponen kedua ialah hasil darab harmonik yang berbeza. Nilai purata komponen kedua dalam satu kitaran adalah sifar. Persamaan (2.6) menjadi persamaan (2.8).

$$\begin{aligned} I_{rms} &= \sqrt{\text{purata nilai komponen pertama dalam satu kitaran}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} I_{pm}^2 \sin^2(p\omega t + \phi_p) d(\omega t)} \\ &= \sqrt{\left(\frac{I_{1m}^2}{2} + \frac{I_{2m}^2}{2} + \dots + \frac{I_{nm}^2}{2} \right)} \end{aligned} \quad (2.8)$$

di mana,

$I_{1m}, I_{2m}, I_{3m}, I_{nm}, I_{pm}, I_{qm}$ = amplitud gelombang arus harmonik

$\phi_1, \phi_2, \phi_n, \phi_p, \phi_q$ = sudut fasa gelombang arus harmonik dengan

merujuk kepada voltan harmonik masing masing

ω = frekuensi

2.1.2 Kuasa Gelombang Harmonik

Jika harmonik wujud dalam sumber bekaln kuasa, persamaan konvensional kuasa RMS, persamaan (2.9), harus dikembangkan lagi supaya kuasa sebenar (yang mengandungi harmonik) dapat digambarkan.

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \quad (2.9)$$

di mana,

V_{rms} = nilai RMS voltan ulang-alik

I_{rms} = nilai RMS arus ulang-alik

ϕ = sudut fasa arus dengan merujuk kepada voltan

Anggapkan harmonik wujud dalam voltan ulang-alik, diwakili oleh persamaan (2.10), dan juga arus ulang-alik, diwakili persamaan (2.11), maka kuasa RMS, P_0 , yang dibekalkan oleh voltan harmonik dan arus harmonik diwakili oleh persamaan (2.12) dan persamaan (2.13).

$$v_0 = V_{1m} \sin(\omega t) + V_{2m} \sin(2\omega t) + \dots + V_{nm} \sin(n\omega t) \quad (2.10)$$

$$i_0 = I_{1m} \sin(\omega t + \phi_1) + I_{2m} \sin(2\omega t + \phi_2) + \dots + I_{nm} \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (2.11)$$

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{p=1}^n V_{pm} I_{pm} \cos \phi_p \quad (2.12)$$

$$P_0 = \sum_{p=1}^n V_p I_p \cos \phi_p \quad (2.13)$$

di mana,

$V_{1m}, V_{2m}, V_{nm}, V_{pm}$ = amplitud gelombang voltan harmonik

$I_{1m}, I_{2m}, I_{nm}, I_{pm}$ = amplitud gelombang arus harmonik

$\phi_1, \phi_2, \phi_n, \phi_p$ = sudut fasa gelombang arus harmonik dengan merujuk

kepada voltan harmonik masing masing

V_p = nilai RMS voltan harmonik ke-p

I_p = nilai RMS arus harmonik ke-p

ω = frekuensi

2.1.3 Faktor Kuasa

Secara amnya, faktor kuasa, PF, ialah nisbah antara kuasa aktif, P, dan kuasa ketara, S. Dalam keadaan tanpa herotan harmonik, Ia diberi oleh persamaan (2.14).

$$\begin{aligned} PF &= P/S \\ &= V_{rms} I_{rms} \cos \phi / V_{rms} I_{rms} \\ &= \cos \phi \end{aligned} \tag{2.14}$$

Tetapi, definisi faktor kuasa harus dikembangkan lagi apabila harmonik wujud dalam sistem kuasa. Faktor kuasa, PF, menjadi persamaan (2.15).

$$PF = \frac{\sum_{p=1}^n V_p I_p \cos \phi_p}{V_{rms} I_{rms}} \tag{2.15}$$

Jika herotan harmonik hanya berlaku pada arus dan tidak berlaku pada voltan, faktor kuasa menjadi persamaan (2.16).

$$PF = \frac{I_1}{I_{rms}} \cos \phi_1 \tag{2.16}$$

di mana,

V_p = nilai RMS gelombang voltan harmonik masing-masing

I_p = nilai RMS gelombang arus harmonik masing-masing

V_{rms} = nilai RMS gelombang voltan

I_{rms} = nilai RMS gelombang arus

ϕ_p = beza fasa antara arus harmonik dan voltan harmonik ke-p

ϕ_1 = beza fasa antara arus asas dan voltan asas

ϕ = beza fasa antara voltan dan arus ulang-alik

2.1.4 Jumlah Herotan Harmonik (*Total harmonic distortion*)

Jumlah herotan harmonik, THD, merupakan salah satu penunjuk untuk menggambarkan bagaimana suatu gelombang diherotkan daripada bentuk sinusoid. Gelombang yang sinusoid, atau tidak diherot, akan mempunyai jumlah herotan harmonik, THD, yang bersamaan sifar. Persamaan (2.17) dan persamaan (2.18) masing-masing ialah rumus pengiraan jumlah herotan harmonik voltan dan arus.

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.17)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.18)$$

di mana,

V_n = nilai rms voltan harmonik ke-n

V_1 = nilai rms voltan asas

I_n = nilai rms arus harmonik ke-n

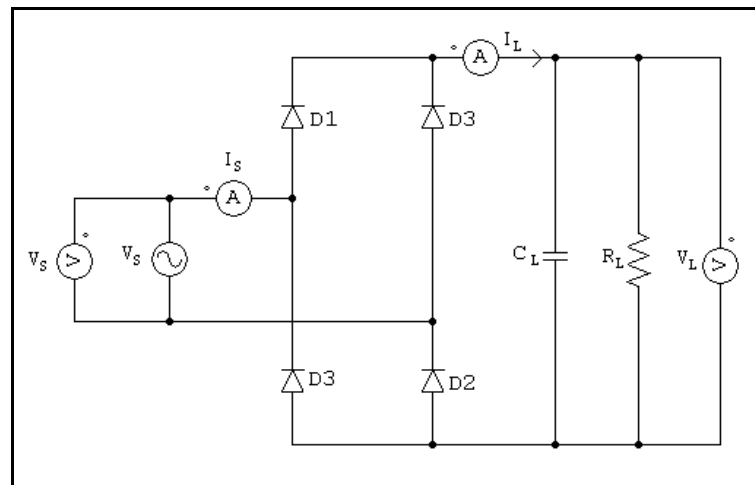
I_1 = nilai rms arus asas

2.2 Beban Tidak Linear

Beban tidak linear hanya mengalirkan arus dari sumber voltan dalam sebahagian kitaran voltan ulang-alik, rujukan [3] (Theodore Wildi, 2000). Oleh itu, penggunaan beban tidak linear akan menghasilkan harmonik dalam sistem kuasanya walaupun sumber voltan yang disambung dengan beban tersebut adalah tidak terherot, iaitu berbentuk sinusoid. Contoh beban tidak linear termasuklah rektifier (yang mengandungi kapasitor atau induktor), suis yang buka tutup secara berkala (tiristor atau suis mekanik) dan sebagainya. Oleh sebab rektifier gelombang satu fasa saja yang digunakan sebagai beban tidak linear dalam projek ini, jadi, hanya rektifier yang dibicarakan.

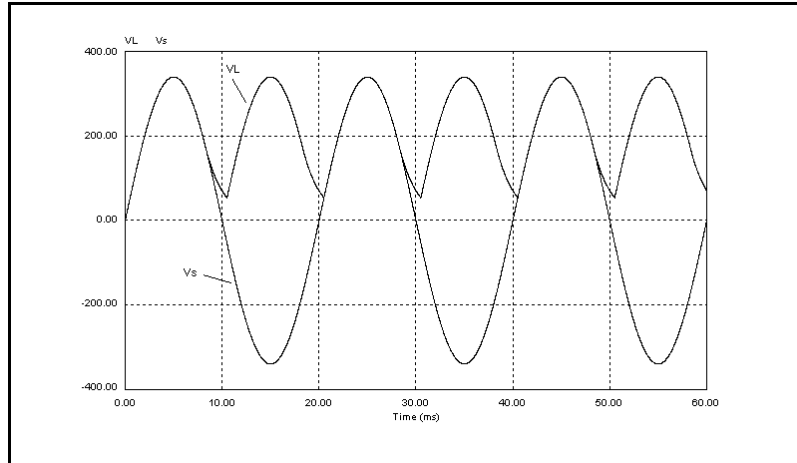
2.2.1 Rektifier Gelombang Penuh Satu Fasa

Rektifier menukarkan arus (atau voltan) ulang-alik kepada arus (atau voltan) terus. Komponen utamanya ialah diod (D1, D2, D3 dan D4).

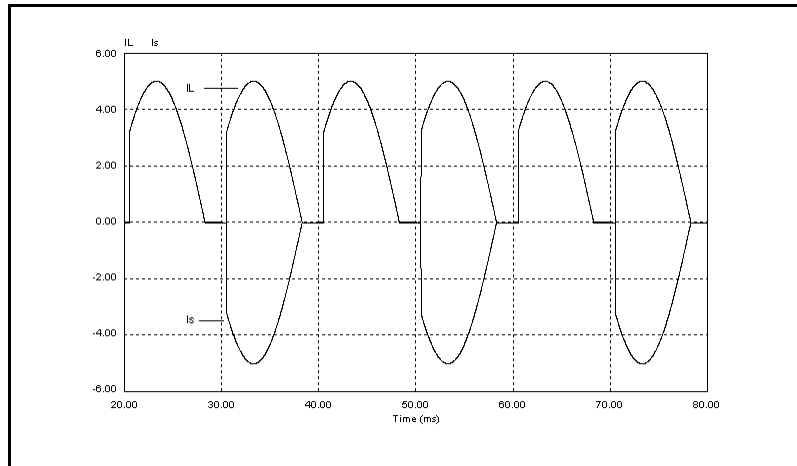


Rajah 2.5: Litar rektifier gelombang satu fasa

Rajah 2.5 menunjukkan litar rektifier yang disambungkan kepada sumber voltan, V_S . Dalam kes pertama, iaitu kapasitor C_L bersamaan $24.04 \mu F$, perintang R_L bersamaan 78.8Ω dan sumber voltan V_S bersamaan $240V$, $50Hz$, bentuk gelombang V_S dan V_L akan seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.6. Bentuk gelombang I_S dan I_L adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.7. Melalui simulasi perisian Orcad, jumlah herotan harmonik arus I_S ialah 22%.

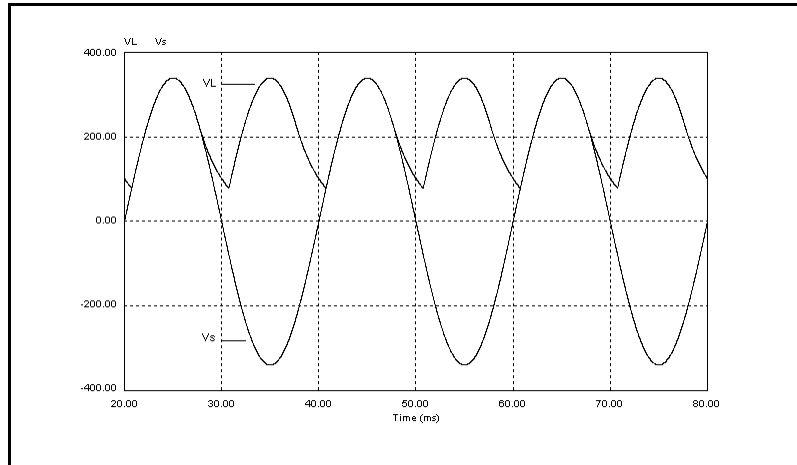


Rajah 2.6: Bentuk gelombang V_S dan V_L

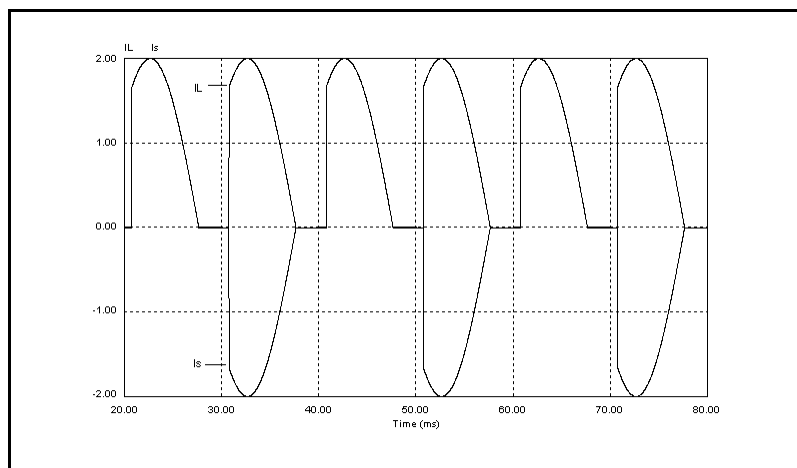


Rajah 2.7: Bentuk gelombang I_S dan I_L

Dalam kes kedua, jika kapasitor C_L bersamaan $12.62 \mu F$, perintang R_L bersamaan 229.8Ω dan sumber voltan V_S bersamaan 240V, 50Hz, bentuk gelombang V_S dan V_L akan seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.8. Bentuk gelombang I_S dan I_L adalah seperti yang ditunjukkan di Rajah 2.9. Melalui simulasi perisian Orcad, jumlah herotan harmonik arus I_S ialah 34.05%.



Rajah 2.8: Bentuk gelombang V_S dan V_L

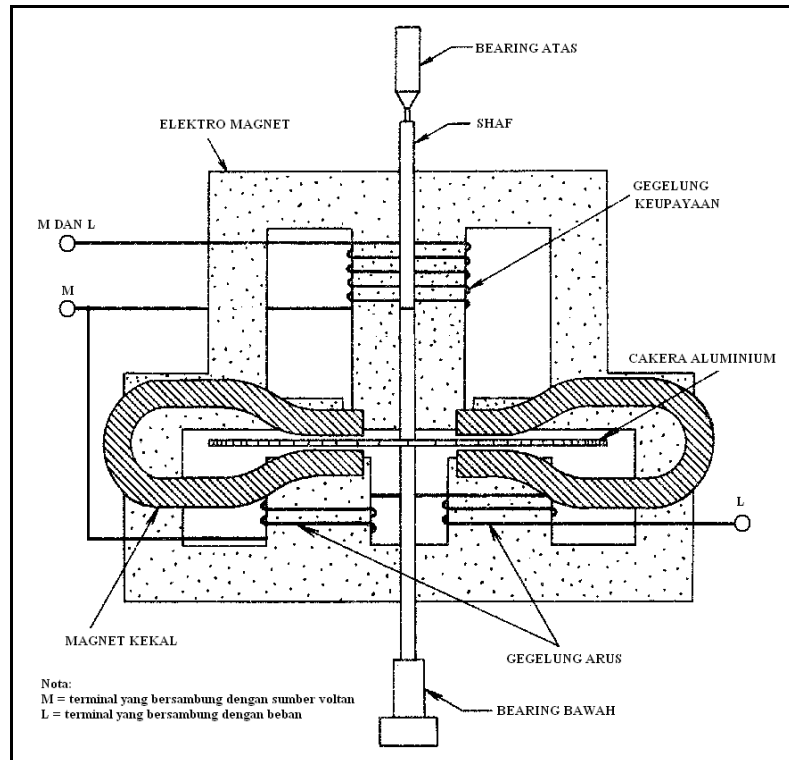


Rajah 2.9: Bentuk gelombang I_S dan I_L

Melalui simulasi perisian Orcad, terbukti jumlah herotan harmonik arus I_S , boleh diubahkan dengan nilai kapasitor dan perintang yang berbeza. Dengan menggantikan kapasitor dan perintang masing-masing dengan kapasitor boleh laras dan perintang boleh laras, maka, sesuaiilah litar rektifier ini digunakan untuk mendapat jumlah herotan harmonik arus I_S yang diperlukan.

2.3 Meter kWh Analog

2.3.1 Binaan Dan Prinsip Operasi



Rajah 2.10: Komponen utama dalaman meter kWh analog

Rajah 2.10 menunjukkan komponen utama dalaman meter kWh analog satu fasa jenis aruhan magnet (*induction type single phase analog kWh meter*). Gegendang keupayaan mempunyai nilai induktan yang sangat tinggi dan rintangan dalaman yang boleh diabaikan.

Secara amnya, apabila disambung ke sumber voltan dan beban, arus yang mengalir melalui gegendang arus, iaitu arus beban, akan menghasilkan fluks ulang-alik, ϕ_i , yang memintas melalui cakera aluminium, mengaruhkan beza upaya dan seterusnya mengaruhkan arus Eddy, I_f , dalam cakera tersebut. Pada masa yang sama, gegendang keupayaan akan menghasilkan fluks ulang-alik, ϕ_v , yang akan memintas arus I_f . Jadi, cakera tersebut akan ditindak oleh suatu daya memusat, ataupun tork pemacu, τ_1 , dan akan memutar dengan kelajuan yang semakin meningkat, rujukan [3] (Theodore Wildi, 2000).

Pada masa yang sama, fluks daripada magnet kekal akan memintas arus Eddy yang sedia ada dalam cakera. Pemintasan tersebut akan menghasilkan tork, τ_2 , yang berlawanan dengan tork, τ_1 . Tork ini meningkat dengan kelajuan cakera. Kelajuan putaran cakera akan semakin bertambah sehinggalah magnitud kedua-dua tork sama. Ketika ini, cakera memutar dengan kelajuan yang tetap. Cakera akan memutar shaf dan putaran shaf pula akan menjanakan perubahan pada pendaftar meter.

2.3.2 Pemalar Meter, K_h

Pemalar meter menunjukkan jumlah tenaga dalam wattjam yang mengalir melalui meter kWh analog bagi setiap pusingan cakera. Dengan ini, kita boleh mengira jumlah tenaga yang mengalir melalui meter kWh analog dengan membilang bilangan pusingan. Kuasa aktif yang dibekalkan kepada beban dikirakan dengan membahagi tenaga dengan masa, rujukan [1] (Marizan Sulaiman, 1999). Kuasa aktif yang dikesan oleh meter kWh analog diberi persamaan (2.19), rujukan [5] (Utility Test Equipment Company, 1999).

$$P = \frac{3600 \times K_h \times R}{t} \quad (2.19)$$

di mana,

P = kuasa aktif yang dikesan oleh meter kWh analog, Watt

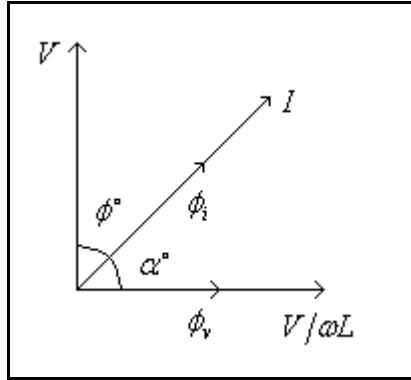
K_h = pemalar meter, wattjam/putaran

R = bilangan putaran cakera

t = masa yang digunakan oleh cakera untuk melakukan R putaran, saat

2.3.3 Teori

Dengan merujuk Rajah 2.11, katakanlah gegelung keupayaan yang mempunyai induktan L disambung ke sumber voltan V yang frekuensinya ω rad/s, dan menghasilkan fluks, ϕ_v . Jadi, arus yang mengalir dalam gegelung keupayaan ialah $V/\omega L$ dan menyusul V sebanyak 90° . Biar arus beban I menyusul V sebanyak ϕ dan menghasilkan fluks ϕ_i yang sefasa dengan I . Jadi beza fasa ϕ_v dan ϕ_i adalah sebanyak α .



Rajah 2.11: Komponen yang menghasilkan tork pemacu

Jadi, dalam keadaan tiada herotan harmonik, tork pemacu cakera, τ_1 diberi oleh persamaan (2.19), dengan K ialah pemalar.

$$\tau_1 \propto \omega \phi_i \phi_v \sin \alpha \quad (2.20)$$

$$\tau_1 \propto \omega I \frac{V}{\omega L} \sin(90 - \phi) \quad (2.21)$$

$$\tau_1 \propto IV \cos \phi \quad (2.22)$$

Jika sebanyak n harmonik wujud dalam voltan dan arus, persamaan (2.22) menjadi persamaan (2.23), bahagian 20.2, rujukan [4] (Theraja B.L., 1997).

$$\tau_1 \propto \sum_{p=1}^n I_p V_p \cos \phi_p \quad (2.23)$$

di mana,

τ_1 = tork pemacu cakera

I_p = nilai RMS arus harmonik ke-p

V_p = nilai RMS voltan harmonik ke-p

ϕ_p = beza fasa antara arus harmonik ke-p dan voltan harmonik ke-p

BAB 3

PERLAKSANAAN KAJIAN

3.1 Perancangan

Perancangan merupakan langkah permulaan menjalankan kajian. Dalam langkah ini, radas yang digunakan, litar yang digunakan untuk pengumpulan data dan jenis data primer yang perlu dikumpulkan telah dirancang.

3.1.1 Perancangan- Radas Yang Digunakan

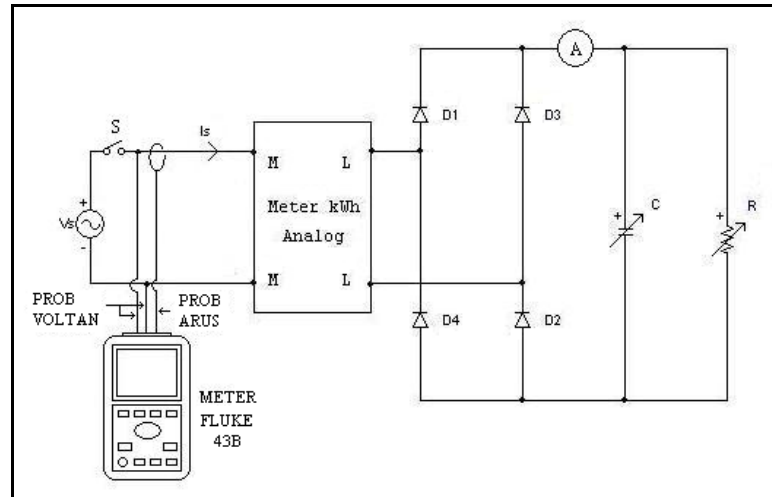
Radas yang digunakan dalam projek ini dan keterangan mereka adalah seperti yang disenaraikan di Jadual 3.1.

Jadual 3.1: Radas yang digunakan dan keterangan mereka

Radas	Bil	Keterangan
Meter Fluke 43B	1	- alat pengukur kualiti kuasa - mengukur parameter jumlah herotan harmonik dan spektrum harmonik (arus dan voltan), nilai RMS dan bentuk gelombang arus dan voltan, kuasa aktif, faktor kuasa, rintangan dan kapasitan dan sebagainya.
Meter kWh analog satu fasa jenis aruhan	1	- alat pengukur tenaga - subjek yang dikaji dalam projek - pemalar meter, $K_h=3Wj/pusingan$
Jam randik digital	1	- alat pengukur masa digital
Diod 1N5408	4	- peranti semikonduktor yang hanya membenarkan arus mengalir dalam satu arah - had maksimum arus terus =3A
Penyambung	1	- alat yang menyambungkan 4 diod menjadi rektifier gelombang penuh satu fasa
Perintang boleh laras	6	- modul 8311, jenama Lab Volt, alat pengajaran makmal kuasa - perubahan rintangan adalah dari sesuatu nilai ke nilai lain, dengan menekan suis padanya - setiap modul mempunyai 9 suis, membenarkan 21 nilai dipilih - dibahagikan kepada 3 set, digunakan secara bergilir untuk mengelakkan pemanasan lampau
kapasitor boleh laras	8	- modul 8331, jenama Lab Volt, alat pengajaran makmal kuasa - perubahan kapasitan adalah dari sesuatu nilai ke nilai lain, dengan menekan suis padanya - setiap modul mempunyai 9 suis, membenarkan 21 nilai dipilih
ammeter arus terus	1	- memerhatikan arus terus di sebelah beban supaya tidak melebihi had arus diod

3.1.2 Perancangan- Litar Untuk Pengumpulan Data

Litar yang dirancang untuk pengumpulan data adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.1.



Rajah 3.1: Litar yang digunakan untuk pengumpulan data

di mana:

V_s : sumber voltan sinusoid, 240V, 50Hz

A: ammeter arus terus

R: perintang boleh laras

C: kapasitor boleh laras

D_1 , D_2 , D_3 dan D_4 : diod 1N5408, rektifier

3.1.3 Perancangan- Jenis Data Primer Yang Dikumpulkan

Dengan menggunakan litar pada Rajah 3.1, data-data primer diukur dan direkodkan. Jadual 3.2 menunjukkan jenis data primer yang dicatat semasa pengumpulan data, alat pengukur yang digunakan dan keterangan masing-masing. Data primer ini kemudian akan diproseskan untuk mendapatkan data sekunder dan kemudiannya diproseskan lagi supaya mendapat keputusan yang boleh dianalisis untuk mencapai objektif projek.

Jadual 3.2: Jenis data primer, unit, alat pengukur, dan keterangan

Jenis Data	Unit	Alat Pengukur	Keterangan
V_s	Volt	Meter Fluke 43B	nilai RMS voltan sumber
I_s	Ampere	Meter Fluke 43B	nilai RMS arus yang mengalir melalui meter kWh
P_f	kiloWatt	Meter Fluke 43B	kuasa aktif yang diserap oleh beban
PF	per unit	Meter Fluke 43B	faktor kuasa
DPF	perunit	Meter Fluke 43B	faktor kuasa peralihan fasa
R	Ohm	Meter Fluke 43B	nilai rintangan perintang boleh laras
C	mikroFarad	Meter Fluke 43B	nilai kapasitan kapasitor boleh laras
bentuk gelombang V_s dan I_s	-	Meter Fluke 43B	bentuk gelombang voltan dan arus diletakkan pada paksi masa yang sama
Spektrum Harmonik arus I_s	-	Meter Fluke 43B	rajah spektrum dan bacaan peratus setiap komponen harmonik daripada nilai RMS I_s
T_{10}	saat	Jam randik digital	tempoh masa untuk cakera meter kWh melakukan 10 putaran

3.2 Pemeriksaan Dan Penyelarasan Alat Pengukur

Langkah ini dilakukan agar bacaan yang diberikan oleh alat pengukur adalah boleh dipercayai. Dalam langkah ini, dua alat pengukur utama, iaitu meter Fluke 43B dan meter kWh analog, diperiksa melalui ujikaji kecil dengan mengubah suai litar Rajah 3.1 (perintang disambung secara terus kepada meter kWh, kapasitor tidak disambungkan). Keputusan ujikaji kecil disenaraikan di bawah dan menunjukkan penyelarasan tidak perlu dilakukan. Peratus perbezaan pengukuran kuasa aktif kedua-dua alat hanya 1.2%.

Bacaan pendaftar meter kWh awal, $E_1 = \underline{9.54 \text{ kWh}}$

Bacaan pendaftar meter kWh akhir, $E_2 = \underline{9.79 \text{ kWh}}$

Jeda masa antara E_1 dan E_2 , $t = \underline{20 \text{ minit}}$

Bacaan nilai RMS meter Fluke 43B, $V_s = \underline{240 \text{ V}}$

Bacaan nilai RMS meter Fluke 43B, $I_s = \underline{4.2 \text{ A}}$

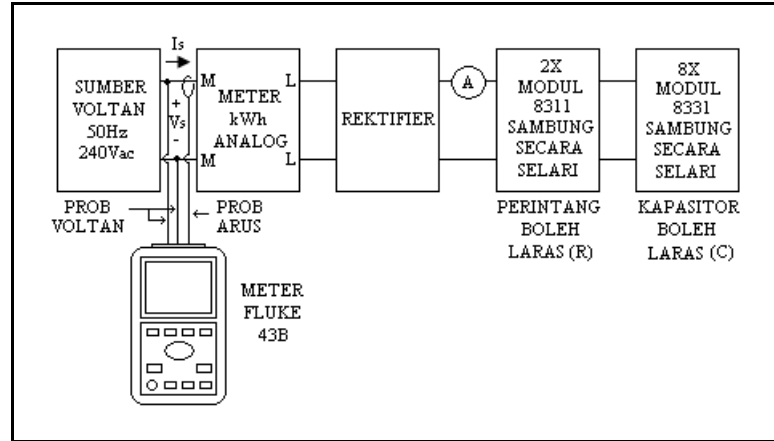
Kuasa aktif yang dikesan oleh meter kWh, $P_k = 60 \times (E_2 - E_1) / t = \underline{1020 \text{ W}}$

Kuasa aktif yang dikesan oleh meter Fluke 43B, $P_f = V_s \times I_s = \underline{1008 \text{ W}}$

Peratus perbezaan pengukuran kuasa aktif kedua-dua alat = $(P_k - P_f) / P_f = \underline{1.2\%}$

3.3 Penyambungan Dan Pemasangan Litar

Litar seperti yang ditunjukkan dalam rajah 3.1 dan rajah 3.2 dipasangkan. Rajah 3.2 menunjukkan gambar rajah blok litar untuk pengumpulan data primer.



Rajah 3.2: Gambarajah blok litar untuk pengumpulan data primer

3.4 Kaedah Pengumpulan Data Primer

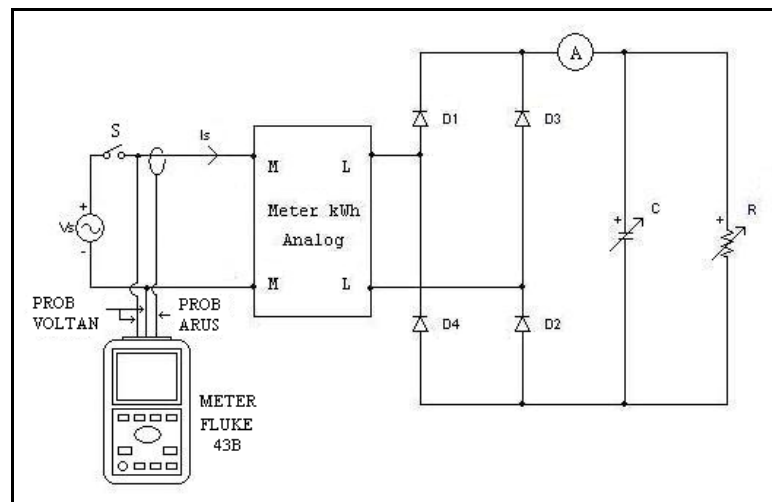
- 1) Litar di Rajah 3.2 dipasangkan.
- 2) Bukakan semua suis di modul 8331 supaya kapasitor boleh laras tidak disambung pada litar. Perintang boleh laras dipastikan bersambung dengan litar pada suatu nilai rintangan.
- 3) Dalam keadaan jumlah herotan harmonik bersamaan 0%, jenis data primer yang disenaraikan di Jadual 3.2 diukur dan dicatatkan. Tempoh masa 10 putaran cakera meter kWh analog diukur dengan jam randik digital dengan memerhatikan tanda kecil pada cakera tersebut.
- 4) Ulangi langkah 3 dalam keadaan jumlah herotan harmonik yang sama untuk nilai RMS I_s yang berlainan sekurang-kurangnya 5 kali dengan meningkatkan atau mengurangkan rintangan R.
- 5) Perintang boleh laras ditukarkan dengan set yang baru (sejuk) jika ia didapati terlalu panas. Pemanasan lampau mengubah rintangan modul dan mungkin merosakan modul itu sendiri.
- 6) Sambungkan kapasitor boleh laras pada litar.
- 7) Dengan menambahkan atau mengurangkan nilai kapasitan (C), jumlah herotan harmonik arus (THD_i) boleh dikawalkan. Ulangi langkah 3 dan 4 untuk jumlah herotan harmonik arus I_s 20%, 30%, 40%, 50%, 60% dan 80%.

BAB 4

KEPUTUSAN

4.1 Data Primer

Dengan menggunakan litar pada Rajah 4.1 dibawah, jenis data primer di Jadual 4.1 telah diukur dan dicatatkan.



Rajah 4.1: Litar yang diguna semasa pengukuran

Jadual 4.1: Jenis data primer yang diukur dan dicatatkan

Jenis Data	Keterangan
V_s	nilai RMS voltan sumber
I_s	nilai RMS arus yang mengalir melalui meter kWh
P_f	kuasa aktif yang diserap oleh beban
PF	faktor kuasa
DPF	faktor kuasa peralihan fasa
R	nilai rintangan perintang boleh laras
C	nilai kapasitan kapasitor boleh laras
T_{10}	tempoh masa untuk cakera aluminium meter kWh melakukan 10 putaran

Semua bacaan yang diambil dengan Meter Fluke 43B dianggap sebagai nilai teori. Berikut ialah data-data yang dikumpulkan (no. = pengukuran ke-1, 2, 3,, 47).

Jadual 4.2: Bacaan daripada pengukuran litar apabila THD_i=0%

no.	R (ohm)	C(uF)	V _s (V)	I _s (A)	P _f (kW)	PF	DPF	T ₁₀ (S)
1	686.0	0	239.1	0.31	0.07	1	1	1363.1
2	345.6	0	241.6	0.63	0.15	1	1	668.08
3	231.5	0	239.8	0.96	0.24	1	1	442.75
4	174.1	0	240.5	1.33	0.32	1	1	342.85
5	138.6	0	239.0	1.64	0.39	1	1	269.09
6	115.2	0	239.2	2.01	0.48	1	1	221.02
7	98.4	0	238.6	2.36	0.56	1	1	381.89
8	86.7	0	235.4	2.65	0.63	1	1	340.07
9	76.8	0	236.1	2.95	0.70	1	1	305.14

Jadual 4.3: Bacaan daripada pengukuran litar apabila THD_i =20%

no.	R (ohm)	C(uF)	V _s (V)	I _s (A)	P _f (kW)	PF	DPF	T ₁₀ (S)
10	694.0	3.34	241.6	0.34	0.07	0.86	0.87	1366.50
11	347.0	5.99	237.6	0.68	0.14	0.87	0.89	687.14
12	228.3	8.73	241.4	1.06	0.23	0.88	0.90	435.50
13	171.7	11.28	236.8	1.40	0.30	0.88	0.90	337.59
14	139.7	13.90	236.8	1.74	0.37	0.88	0.91	270.73
15	117.0	16.76	236.1	2.11	0.45	0.88	0.91	226.28
16	78.8	24.04	236.6	3.08	0.66	0.89	0.91	155.22

Jadual 4.4: Bacaan daripada pengukuran litar apabila THD_i =30%

no.	R (ohm)	C(uF)	V _s (V)	I _s (A)	P _f (kW)	PF	DPF	T ₁₀ (S)
17	697.0	4.56	241.3	0.35	0.07	0.80	0.83	1367.4
18	347.2	8.60	239.3	0.74	0.15	0.80	0.85	666.13
19	229.8	12.62	238.3	1.13	0.22	0.81	0.85	439.14
20	171.6	16.74	237.0	1.53	0.30	0.82	0.86	329.66
21	137.4	20.74	236.7	1.91	0.38	0.82	0.87	265.00
22	115.4	24.71	235.2	2.29	0.45	0.82	0.87	223.23

Jadual 4.5: Bacaan daripada pengukuran litar apabila THD_i =40%

no.	R (ohm)	C(uF)	V _s (V)	I _s (A)	P _f (kW)	PF	DPF	T ₁₀ (S)
23	686.0	6.62	238.9	0.44	0.08	0.73	0.80	1270.8
24	343.6	12.49	239.7	0.90	0.16	0.74	0.81	623.53
25	233.8	17.85	241.1	1.28	0.24	0.75	0.83	409.10
26	174.5	23.88	236.8	1.70	0.31	0.76	0.85	318.43
27	137.4	29.37	239.0	2.17	0.40	0.76	0.85	251.02
28	116.0	34.66	236.4	2.56	0.47	0.77	0.85	214.47
29	89.9	45.50	238.4	3.37	0.62	0.77	0.85	161.17