

**KAJIAN PENINGKATAN KECEKAPAN TENAGA ELEKTRIK
UNTUK PEMBANGUNAN KOMERSIAL**

**Oleh
Mohd Faisal bin Wan Chik**

**Disertasi ini dikemukakan kepada
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

**Sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat keperluan
untuk ijazah dengan kepujian**

SARJANA MUDA KEJURUTERAAN (KEJURUTERAAN ELEKTRIK)

**Pusat Pengajian Kejuruteraan
Elektrik dan Elektronik
Universiti Sains Malaysia**

Mei 2006

ABSTRAK

Kajian Peningkatan Kecekapan Tenaga Elektrik untuk Pembangunan Komersial merupakan satu proses penilaian terhadap aspek-aspek yang mempengaruhi kecekapan sistem elektrik. Projek ini dilaksanakan bagi menyelidik faktor-faktor yang menyumbang kepada ketidakcekapan tenaga, kaedah meningkatkan kecekapan dan analisis ekonomi terhadap kesan daripada pemuliharaan tenaga elektrik. Projek ini menekankan 3 aspek utama yang menyumbang kepada ciri beban keseluruhan iaitu penghawa dingin, pencahayaan dalaman dan beban-beban tak linear. Pengaruh ketiga-tiga komponen beban ini dilihat dari aspek tenaga yang digunakan, kualiti kuasa dan langkah penjimatan. Bagi beban penyejukan dua jenis sistem penyejukan dibandingkan iaitu Sistem Penyejukan Udara Terpakej dan Sistem Penyejukan Unit Terpisah iaitu bagi memastikan sama ada operasi kedua-dua sistem ini efisien atau tidak. Bagi sistem pencahayaan pula analisis dilakukan dengan mengambil kira sama ada sistem pencahayaan sedia ada beroperasi pada kos yang efektif. Analisis terhadap reka bentuk sistem pencahayaan sedia ada turut dilakukan bagi meningkatkan kecekapan penyebaran pencahayaan. Bagi beban tidak lurus, analisis yang dilakukan adalah bagi mengenal pasti sama ada kehadiran arus berharmonik tinggi memberi kesan kepada pensaizan kabel neutral. Selain itu, satu perisian interaktif mesra pengguna telah dibangunkan bagi menganalisis perbandingan kos antara kos pelaburan, kos operasi dan pulangan terhadap pelaburan. Cadangan terhadap peningkatan kecekapan kualiti tenaga elektrik juga dibincangkan secara mendalam.

ABSTRACT

Electric Energy Efficiency Enhancement of a Commercial Establishment is a research to evaluate several aspects that influencing efficiency of an electrical system. This project was done to investigate factors that contribute to inefficient electrical energy use, method to improve efficiency, and economic analysis effect to the electrical energy conservation. This project focused on 3 aspects that inherent as total load characteristic which consist air conditioning, indoor lighting and non linear load. Research that was done include the aspect of energy that is being used, power quality and savings methodology. For cooling load, two types of system was concern which is Air Cooled Package Unit and Air Cooled Split Unit to ensure either the system is efficient or not. For lighting system, the analysis involves to determine either the present systems operates at a cost effective value. For non-linear load, analysis that was done to determine either the rich harmonic current may affect the neutral sizing cable. Besides that, interactive and user friendly software was developed to analyze cost comparison between the capital cost, system operational cost and the investment payback. This report also consist some suggestion to enhance the electric energy efficiency, that is being discuss in a depth way.

PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang.

Bersyukur saya ke hadrat Ilahi kerana dengan keizinan-Nya, maka dapatlah saya menghasilkan projek tahun akhir ini. Berkat kesabaran dan ketekunan sepanjang menjalankan projek tahun akhir ini, akhirnya saya dapat menyiapkan laporan projek tahun akhir ini.

Dalam kesempatan ini saya juga ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada penyelia saya, Dr. Ir. Syafrudin bin Masri kerana telah banyak membantu saya dan tidak jemu memberi tunjukkan ajar, idea, dan cadangan yang bernas dalam menjayakan projek tahun akhir ini. Terima kasih juga saya rakamkan buat Encik Hamdan bin Mohd Nor, Pengurus Kejuruteraan di Akas Engineering & Trading Sdn. Bhd. yang telah membantu menyediakan helaian data berkaitan sistem pencahayaan.

Selain itu, tidak dilupakan juga kepada juruteknik-juruteknik Makmal Kuasa kerana telah banyak membantu saya untuk menyediakan peralatan makmal dan juga turut menyumbang ilmu untuk menjayakan projek ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada kedua ibu bapa saya yang banyak memberi sokongan. Akhir sekali, terima kasih juga kepada rakan seperjuangan dan orang perseorangan yang turut sama memberi bantuan secara langsung atau pun tidak langsung di dalam menjayakan projek dan laporan tahun akhir ini.

KANDUNGAN

	Muka Surat
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PENGHARGAAN	iv
KANDUNGAN	v
BAB 1: PENGENALAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Objektif	2
1.3 Metodologi	3
1.4 Panduan Laporan	5
BAB 2 : KAJIAN ILMIAH	
2.1 Pencahayaan Sebagai Suatu Unsur Kualiti.....	6
2.1.1 Paras Pencahayaan.....	6
2.1.2 Istilah-istilah Pencahayaan	7
2.1.3 Hukum Pencahayaan	8
2.1.4 Faktor-faktor Mempengaruhi Pencahayaan	10
2.1.5 Penentuan Bilangan Lampu yang Optimum	13
2.1.6 Reka bentuk Pencahayaan	14
2.2 Penyejukan Sebagai Suatu Unsur Kualiti	15
2.2.1 Istilah-istilah Penyejukan	16
2.2.2 Pemilihan Spesifikasi Penghawa Dingin	17
2.2.3 Saiz Unit Penghawa Dingin	18
2.2.4 Pengiraan Kapasiti Penghawa Dingin	18
2.2.5 Prosedur Pengiraan Beban Penyejukan	19
2.3 Analisis Kesan Harmonik.....	22
2.3.1 Teori Harmonik	23

2.3.2	Harmonik Gandaan Tiga.....	25
2.3.3	Faktor Kuasa.....	26
2.4	Pengaturcaraan Komputer	26
2.5	Prosedur Umum Penilaian Ekonomi.....	29
2.5.1	Ramalan Penggunaan Tenaga Tahunan.....	29
2.5.2	Konsep Asas.....	30
2.5.3	Nisbah Faedah Kos.....	30
2.5.4	Nilai Bersih Semasa.....	31
2.5.5	Tempoh Pulangan.....	31
2.5.6	Pulangan Atas Pelaburan.....	32

BAB 3 : PERLAKSANAAN KAJIAN

3.1	Perancangan Perlaksanaan Rancangan.....	33
3.1.1	Pengawasan Tempat Kerja.....	33
3.1.2	Maklumat Pengukuran.....	33
3.2	Prosedur Pengukuran	34
3.2.1	Pengukuran Pada Kotak Agihan.....	34
3.2.2	Pengukuran Beban Satu Fasa.....	35
3.2.3	Pengukuran Paras Pencahayaan.....	35
3.2.4	Pengaturcaraan Komputer.....	36

BAB 4 : KEPUTUSAN, ANALISIS DAN PERBINCANGAN

4.1	Pendahuluan.....	37
4.2	Kajian beban Sistem Penyejukan dan Sistem Pencahayaan.....	38
4.2.1	Pengiraan Kapasiti Beban Penyejukan Sebenar.....	44
4.3	Analisis dan Reka Bentuk Sistem Pencahayaan.....	49
4.3.1	Pengiraan spesifikasi Sistem Pencahayaan Sebenar.....	50
4.3.2	Reka bentuk Pemasangan.....	52
4.3.3	Analisis Ekonomi Terhadap Pemasangan.....	55
4.3.4	Analisis Reka Bentuk Menggunakan Aturcara.....	56
4.4	Kajian Kecekapan Makmal mikropemproses.....	57

4.4.1	Kesan Harmonik Terhadap Ekonomi	57
4.4.2	Kos Kabel Voltan Sederhana bagi Keadaan Bentuk Tidak Sinus.....	57
4.4.3	Kajian Kesan Harmonik di Makmal Mikropemproses.....	59
4.4.4	Perbandingan Kualiti Unit Komputer.....	62
4.4.5	Analisis Mod Keadaan Lalai.....	64
4.5	Pengaturcaraan Komputer.....	66
4.5.1	Struktur Program.....	67
4.5.2	Keistimewaan Sistem.....	71
4.6	Cadangan Meningkatkan Kecekapan Penggunaan Tenaga Elektrik....	72
4.6.1	Faktor Penyelenggaraan.....	72
4.6.2	Faktor Pensuisan.....	76
4.6.3	Kawalan Peralatan	79
BAB : 5	KESIMPULAN.....	82

RUJUKAN

LAMPIRAN A : SPESIFIKASI PIAWAIAN PARAS PENCAHAYAAN

LAMPIRAN B : JADUAL FAKTOR PENDARABAN PENGGUNA

**LAMPIRAN C : CONTOH SPESIFIKASI LAMPU BAGI PEMASANGAN
PENCAHAYAAN**

LAMPIRAN D : JADUAL REKA BENTUK SISTEM PENDINGINAN

Bab 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Pada hari ini kajian tentang kecekapan tenaga merupakan satu aspek yang sangat penting. Sistem pengurusan tenaga yang dilaksanakan dengan sempurna dan melibatkan semua pihak berupaya menjimatkan kos tenaga elektrik sehingga 30 peratus (Sumber Kementerian Tenaga Air dan Komunikasi). Sistem pengurusan tenaga yang berkesan melibatkan perancangan daripada aspek pembinaan, pemilihan bahan sehinggalah aspek pemasangan elektrik. Berdasarkan permintaan terhadap tenaga elektrik yang semakin bertambah, suatu kajian yang lebih mendalam terhadap kecekapan penggunaan tenaga elektrik yang optimum khususnya dalam bidang komersial perlu dilakukan. Melalui kajian ini beberapa komponen sistem tenaga elektrik komersial dikenal pasti sama ada efisien atau tidak. Hal ini seterusnya dapat mengelakkan pembaziran dan mengoptimumkan penggunaan sumber bekalan elektrik setanding dengan kos yang dibayar.

Aspek utama yang menjadi fokus dalam kajian ini adalah tentang kajian ke atas beban-beban yang mempengaruhi kecekapan seperti beban pencahayaan, penghawa dingin dan beban-beban tak lurus. Melalui kajian ke atas corak beban-beban ini, analisis faktor-faktor yang menyumbang kepada peningkatan beban sama ada ianya berpunca faktor aktif atau faktor pasif. Faktor aktif bermaksud faktor-faktor yang boleh diperbaiki atau ditingkatkan kecekapannya sama ada melalui kawalan, penggantian atau penyelenggaraan semula seperti penghawa dingin, pencahayaan dan komputer. Faktor pasif pula bermaksud faktor yang tidak dapat diperbaiki dengan mudah seperti reka bentuk bangunan, pemasangan elektrik, pengudaraan semula jadi dan kehilangan yang disebabkan oleh pemanasan sekeliling yang mempengaruhi kecekapan sistem. Justeru itu, faktor-faktor yang merendahkan kecekapan tenaga elektrik menjadi fokus kajian ini.

Melalui proses ini alternatif-alternatif yang sesuai dicadangkan bagi meningkatkan kecekapan penggunaan tenaga elektrik dan pada masa yang sama mengurangkan pembaziran tenaga. Setiap alternatif yang dicadangkan dipertimbangkan sama ada memberi keuntungan dari aspek ekonomi.

1.2 Objektif

Objektif projek ini adalah untuk :

- Mengkaji kelemahan yang wujud pada sistem pemasangan elektrik sedia ada iaitu bagi pemasangan lampu, penghawa dingin dan beban-beban tak lurus.
- Mengkaji teknik yang sesuai untuk meningkatkan kecekapan suatu sistem tenaga elektrik bagi suatu bangunan komersial.
- Mengkaji kaedah bagi mengurangkan kos tenaga elektrik yang digunakan untuk suatu bangunan komersial dari aspek ekonomi.
- Meningkatkan kesedaran tentang kepentingan sistem pengurusan tenaga yang efektif.
- Membangunkan atur cara yang memudahkan pengiraan jumlah pemasangan lampu berserta penilaian dari aspek ekonomi.
- Memahami spesifikasi-spesifikasi piawai yang diguna pakai di peringkat tempatan dan antarabangsa dalam pemasangan elektrik seperti piawaian Jabatan Kerja Raya (JKR), *Illuminating Engineering Society of North America* (IESNA), *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) dan *International Electrotechnical Commission* (IEC).

1.3 Metodologi

Projek ini memberi tumpuan kepada aspek peningkatan kecekapan tenaga elektrik untuk pembangunan komersial. Bagi memudahkan pelaksanaan projek ini, aspek-aspek kajian telah dibahagikan kepada beberapa peringkat. Pembahagian ini dilakukan agar pelaksanaan projek dapat dijalankan secara sistematik. Pembahagian peringkat-peringkat ini adalah seperti berikut:

Peringkat Pertama : Kajian Berkaitan Teori dan Latar Belakang Tajuk

Pada peringkat ini kajian secara mendalam ke atas tajuk dilakukan melalui pembacaan dan kajian ilmiah. Kajian berbentuk pembacaan lebih bertumpu kepada buku-buku dan tesis-tesis yang terdapat di perpustakaan. Kajian ilmiah di internet pula melibatkan isu-isu semasa berkaitan kecekapan pengurusan tenaga melalui kertas-kertas kerja, jurnal-jurnal serta piawaian tempatan dan antarabangsa.

Peringkat Kedua : Perancangan Aspek Kajian

Pada peringkat ini skop kajian ditetapkan supaya lebih memfokuskan kepada tajuk projek. Maka, dalam kajian projek tahun akhir ini, 4 skop utama yang menjadi asas kepada kajian iaitu meliputi :

- i) Proses kajian fizikal ke atas pemasangan
- ii) Penaksiran dari sudut ekonomi
- iii) Menyediakan alternatif yang sesuai bagi meningkatkan kecekapan
- iv) Pembangunan aturcara komputer

Berikut adalah beberapa anggapan yang dibuat berkaitan projek ini.

- a) Menetapkan beberapa faktor yang mempengaruhi kecekapan tenaga elektrik sebagai aspek kajian iaitu :
 - i) Pencahayaan dalam bangunan
 - ii) Jenis sistem penghawa dingin yang digunakan
 - iii) Beban-beban tak lurus
- b) Menimbangkan hipotesis bahawa keputusan daripada kajian diambil untuk kes-kes yang telah ditetapkan.

Peringkat Ketiga : Menjalankan Pemeriksaan Fizikal

Pada peringkat ini kajian ke atas beban-beban dijalankan. Pemeriksaan ke atas beban dijalankan mengikut jadual dan tempoh yang telah ditetapkan. Peralatan *Fluke 43B* digunakan bagi menyukat jumlah kuasa yang tersambung pada kotak pengagihan. Satu senarai kaedah prosedur menjalankan pemeriksaan ke atas setiap jenis beban disediakan. Hal ini bagi memudahkan proses kajian dan memastikan objektif kajian terlaksana. Segala data, maklumat dan tempoh beban beroperasi direkodkan dan disimpan secara sistematik. Anggaran yang sesuai dibuat sama ada hasil kajian menepati ramalan secara teori. Ulangan terhadap kajian perlu dilakukan sekiranya data yang diperolehi tidak memenuhi objektif kajian.

Peringkat Keempat: Analisis Data dan Pembangunan Perisian

Data yang merupakan keputusan daripada kajian dikumpulkan untuk dianalisis. Proses pengiraan semula kecekapan dan penggunaan tenaga dilakukan. Algoritma-algoritma daripada aspek kejuruteraan, matematik dan ekonomi digunakan bagi mengira hasil daripada kajian fizikal. Pengiraan secara teori dilakukan bagi mewujudkan perbandingan di antara nilai teori dan keputusan kajian. Data-data juga dipersembahkan dalam bentuk graf dan jadual. Perjalanan satu aturcara yang mampu menjalankan operasi mengira pemasangan lampu berserta kos yang sesuai bagi sesuatu premis ditunjukkan.

Peringkat Kelima : Cadangan, Perbincangan dan Kesimpulan

Menyediakan alternatif-alternatif yang sesuai bagi meningkatkan kecekapan tenaga elektrik. Membincangkan kaedah pelaksanaan dan pengaruhnya ke atas peningkatan kecekapan tenaga. Memberi suatu kesimpulan kepada hasil perbincangan.

Peringkat Keenam : Menyediakan Laporan Akhir Projek

Laporan semasa perjalanan projek pada setiap beban digabungkan untuk menghasilkan laporan akhir. Proses mengaudit dan memeriksa semula dilakukan bagi memastikan tiada kesilapan yang dilakukan.

1.4 Panduan Laporan

Laporan projek Kajian Peningkatan Kecekapan Tenaga Elektrik untuk Pembangunan Komersial ini dibahagikan kepada lima bab. Setiap bab membincangkan laporan perkembangan projek dari awal projek hingga ke akhir projek.

Bab 1 menerangkan pengenalan dan latar belakang projek yang membincangkan kepentingan projek pada masa kini. Dalam bab satu ini perbincangan meliputi kepentingan projek pada masa kini. Bab ini juga menjelaskan objektif-objektif yang digariskan dalam projek ini. Selain itu, dalam bab ini juga penerangan tentang metodologi yang digunakan diterangkan secara terperinci.

Bab 2 mengandungi kajian ilmiah berkaitan projek. Kajian ilmiah ini meliputi aspek kajian ilmiah bidang pencahayaan, penghawa dingin, beban tak lurus, analisis ekonomi dan pengaturcaraan komputer.

Bab 3 mengandungi pelaksanaan kajian ilmiah. Dalam bab ini kajian terhadap skop-skop yang telah ditentukan dilaksanakan. Ia menyenaraikan prosedur kajian dan reka bentuk aturcara. Selain itu, bab ini juga membincangkan tentang aturcara komputer yang dibangunkan.

Bab 4 mengandungi analisis terhadap data dan keputusan yang dikumpulkan. Setiap keputusan yang diperolehi, dibincangkan dan dikupas secara mendalam. Analisis dari sudut ekonomi juga dibincangkan. Persembahan aturcara yang telah dibina juga disediakan. Reka bentuk yang sesuai dicadangkan bagi meningkatkan kecekapan sistem sedia ada. Selain itu, syor-syor berkaitan kaedah untuk meningkatkan kecekapan turut dibincangkan.

Akhir sekali, dalam bab 5 kesimpulan ke atas kajian dilakukan. Satu rumusan berkaitan kajian dipersembahkan. Selain itu, cadangan berkaitan penambah baikkan ke atas kertas kajian disyorkan bagi meningkatkan kualiti kecekapan tenaga elektrik untuk penggunaan pada masa hadapan.

Bab 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Pencahayaan Sebagai Suatu Unsur Kualiti

Proses mengekalkan piawaian tinggi terhadap kualiti pencahayaan merupakan satu keutamaan yang perlu diberi perhatian dalam pengurusan kecekapan tenaga yang berkesan. Proses mengaudit dan mengawasi sistem pencahayaan mampu meningkatkan tahap kualiti pencahayaan bagi sesebuah premis. Terdapat tiga proses yang paling penting dalam pengawalan sistem pencahayaan iaitu:

- i) Mengenal pasti jumlah pencahayaan yang tepat
- ii) Mengekalkan paras pencahayaan yang sesuai
- iii) Kawalan ke atas sistem pencahayaan

2.1.1 Paras Pencahayaan

Pengubahsuaian sistem pencahayaan untuk membekalkan kuantiti cahaya yang sesuai bagi sesuatu premis dapat meningkatkan kualiti pencahayaan. Pemilihan kuantiti pencahayaan yang optimum adalah penting bagi memenuhi keperluan sesuatu bilik. Paras pencahayaan sedia ada perlu ditingkatkan atau dikurangkan bagi memenuhi matlamat piawaian sebenar. Pengiraan jumlah pencahayaan yang diperlukan oleh sesuatu kawasan akan menjadi lebih tepat dengan menggunakan jadual spesifikasi lampu, [1]. Melalui jadual, nilai yang tepat secara terperinci bagi sesuatu jenis lampu dan tempat yang sesuai untuk memasangnya dapat ditentukan. Terdapat beberapa badan-badan tertentu yang menyediakan jadual-jadual ini, antaranya ialah *Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)*, *General Electric Company (G.E.C)* dan Jabatan Kerja Raya (J.K.R). Di Malaysia, pencahayaan dalam bangunan merujuk kepada piawaian berikut:

- i) ISO 8995:2002(E) – Lighting Of Indoor Workplace (to replace MS 603: 1979 : code of practice for interior lighting
- ii) Illuminating Engineering Society of North America (IESNA)
- iii) MS IEC 60364 – Electrical Installation of Building (~IEE 16th Reg)

2.1.2 Istilah-istilah Pencahayaan

Pengetahuan tentang istilah-istilah penting dalam sistem pencahayaan adalah amat penting bagi menganalisis sistem pencahayaan, [1]. Berikut disenaraikan istilah-istilah penting dalam sistem pencahayaan.

- i) Lumen
Merupakan Fluks Cahaya atau kadar pengaliran cahaya dari satu punca. Misalnya lampu berfilamen mengeluarkan fluks cahaya 2500 Lumen atau 2500 lm. Nilai lumen bagi sesuatu lampu bergantung kepada spesifikasi keupayaan lampu tersebut dan tidak berkadar terus dengan kuasa lampu.
- ii) Paras pencahayaan (Illuminance)
Merupakan jumlah cahaya yang diterima oleh sesuatu permukaan. Ia menggambarkan berapa jumlah cahaya yang ada pada suatu permukaan, misalnya jumlah pencahayaan bagi satu permukaan berkeluasan satu meter persegi.
- iii) Lux
Lux atau lumen/m² atau lumen/ft² merupakan unit bagi pencahayaan.

$$1 \text{ lm/ft}^2 = 10.76 \text{ lux atau } 10.76 \text{ lumen/m}^2 \quad (2.1) \\ \approx 10 \text{ lux}$$

- iv) Keamatan (Intensity)
Merupakan istilah di mana banyaknya cahaya yang dikeluarkan dari suatu titik cahaya (sebagai contoh punca lilin (candelas)) dalam semua arah.

$$\text{Keamatan} = \frac{I}{d^2} \text{ [lux]} \quad (2.2)$$

dimana,

I = nilai candelas

d = jarak dari sumber cahaya

2.1.3 Hukum Pencahayaan

Menurut kaedah Lumen, cahaya yang dihasilkan oleh setiap lampu adalah seragam pada sesuatu satah kerja seperti pada permukaan bangku atau meja. Secara umum, fluks ditakrifkan mengikut formula berikut:

$$\Phi = (E \times A) \quad (2.3)$$

di mana,

$$E = \text{paras pencahayaan} = I/(d)^2$$

d = jarak permukaan dari sumber cahaya

A = luas permukaan

Maka, didapati pencahayaan di sesuatu permukaan jasad berkadar songsang dengan jaraknya dari sumber cahaya. Walau bagaimanapun, apabila permukaan yang bersudut condong seperti Rajah 2.1, formula berikut digunakan.

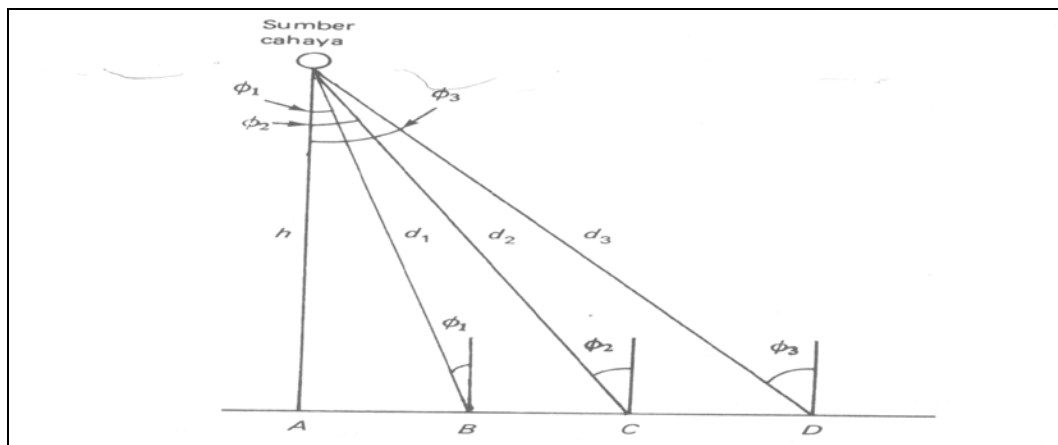
$$E = (I \cos \Phi) / d^2 \quad (2.4)$$

di mana,

I = keamatan berkilau

Φ = sudut mencapah

d = jarak sumber cahaya ke permukaan



Rajah 2.1 : Hukum pencahayaan

Jika faktor pendaraban pengguna dan faktor penyelenggaraan diambil kira, maka, fluks yang diperlukan di sesuatu kawasan berubah seperti berikut:

$$\Phi = (E \times A) / (\mu \times p) \text{ ; unit [Lumen]} \quad (2.5)$$

di mana,

μ = faktor pendaraban pengguna

p = faktor penyelenggaraan

A = luas permukaan [m^2]

E = paras pencahayaan yang dikehendaki [lux atau lumen/ m^2]

Seterusnya, bilangan lampu pada nilai fluks yang diketahui dengan menggunakan formula berikut:

$$N = (E \times A) / (\mu \times p \times \Phi) \quad (2.6)$$

N = bilangan lampu

Maka, bagi suatu bilik tutorial di Pusat Pengajian Kejuruteraan Elektrik USM yang mempunyai N buah lampu, nilai flux E boleh dikira menggunakan rumus berikut:

$$E = (N \times \mu \times p \times \Phi) / A \quad (2.7)$$

Dengan syarat kita menetapkan nilai fluks (Φ) bagi lampu. Nilai fluks ini bergantung kepada jumlah hayat penggunaan lampu. Nilai fluks bagi lampu boleh diperolehi melalui jadual yang telah ditentukan oleh IESNA dan JKR (Rujuk Lampiran A1). Selain itu, melalui teori juga jumlah fluks, bilangan lampu dan jenis susun atur yang optimum boleh dikira bagi menjamin kecekapan reka bentuk pemasangan elektrik.

Malah, di sini dengan menggunakan alatan meter lux, jumlah fluks yang terdapat di sesebuah bilik dapat disukat serta dibandingkan dengan piawaian sebenar. Melalui perbandingan ini, pemasangan sistem pencahayaan dapat dinilai sama ada efisien atau tidak.

2.1.4 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Pencahayaan

Berikut adalah merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah pencahayaan bagi sesuatu bilik.

i) Faktor Pemantulan

Menerangkan kadar sesuatu permukaan akan memantulkan cahaya. Biasanya nilai dikira dalam peratusan. Sebagai contoh bagi suatu permukaan yang mempunyai faktor pemantulan 45% akan membalikkan 45% dari cahaya yang dipancarkan kepadanya, [1]. Jadual 2.1 berikut menerangkan warna permukaan berserta peratus pembalikan.

Jadual 2.1 : Jenis permukaan dan peratus pembalikan

Bahan / Warna	Peratus Pembalikan
1. Perak yang digilap	92%
2. Cermin	85%
3. Puteri berkilat	80%
4. Putih rata	75%
5. Krim hitam	70%
6. Kuning muda	65%
7. Krom	65%
8. Hijau muda	62%
9. Kelabu muda	50%
10. Konkrit tidak bercat	45%
11. Coklat	30%
12. Kuning	30%
13. Kelabu	22%
14. Hijau tua	20%
15. Batu bata	25%
16. Hitam	3%

ii) Faktor Penyerapan

Menerangkan kadar penyerapan cahaya oleh sesuatu bahan yang tidak menyerap cahaya. Sekiranya permukaan tidak menyerap cahaya, ia bermakna permukaan tersebut menghasilkan pantulan yang mempengaruhi jumlah cahaya premis.

iii) **Faktor Pendaraban Pengguna (μ)**

Faktor pendaraban pengguna menganggap bahawa cahaya yang dikeluarkan oleh sesebuah lampu itu tidak sepenuhnya sampai ke satah kerja. Cahaya lampu mungkin dihalang oleh peralatan lampu dan diserap oleh dinding, siling dan sebagainya. Nilai Faktor Pendaraban bagi lampu jenis penyebaran cahaya secara langsung ialah di antara 0.4 hingga 0.6, [6]. Faktor pendaraban pengguna juga boleh diperolehi dengan menggunakan jadual spesifikasi lampu. Lampiran C2 adalah contoh jadual bagi menentukan faktor pendaraban pengguna yang sesuai bagi bilik berdasarkan spesifikasi sebenar.

iv) **Faktor Penyelenggaraan (ρ)**

Faktor ini menganggap bahawa cahaya yang dikeluarkan oleh sumber cahaya tidak akan sampai ke satah kerja sepenuhnya. Hal ini disebabkan oleh halangan habuk dan kekotoran pada pemantul, peneduh, dinding dan kawasan berhabuk. Bagi sebuah lampu yang selalu dibersihkan faktor penyelenggaraan adalah 0.8 atau menghampiri 1. Faktor penyelenggaraan ρ dikira menggunakan rumus berikut:

$$\text{Faktor penyelenggaraan } (\rho) = \frac{\text{Pencahayaannya pada keadaan semasa}}{\text{Pencahayaannya pada keadaan sebenar}} \quad (2.8)$$

v) **Kecekapan Fluks Cahaya (Luminous Efficiency (lumen/watt))**

Menerangkan kecekapan sesuatu lampu dalam mengeluarkan fluks cahaya. Kecekapan fluks cahaya diperolehi dengan membahagi jumlah lumen yang dikeluarkan dengan kuasa (watt) yang digunakan.

vi) **Satah Kerja**

Merupakan satah di mana aktiviti kerja dilakukan. Menjadi paras dasar di mana ukuran pencahayaan dipastikan. Kebiasaannya permukaan kerja seperti meja belajar di ambil antara 760 mm ($2\frac{1}{2}$ kaki) hingga 915 mm (3 kaki) dari paras lantai.

Permukaan ini tidak semestinya mendatar atau rata. Kadangkala pertimbangan harus diberikan kepada permukaan yang curam seperti meja lukisan dan papan hitam.

iv) **Nisbah bilik**

Merupakan indeks yang menghubungkan ukuran bilik. Nisbah bilik mengambil kira luas dan bentuk bilik. Nisbah bilik boleh dihitung menggunakan rumus berikut:

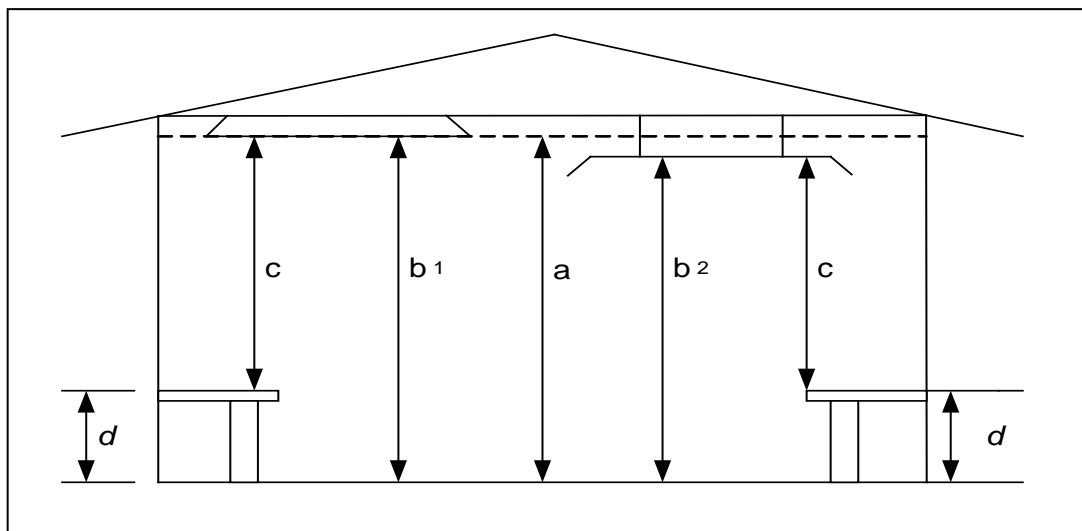
$$\text{Nisbah Bilik} = \frac{\text{Panjang} \times \text{Lebar}}{\text{Tinggi Lampu} \times (\text{Panjang} + \text{Lebar})} \quad (2.9)$$

vi) **Ketinggian**

Berikut adalah spesifikasi ketinggian lampu dari meja kerja.

- i) Tinggi Siling – Tinggi siling dari lantai.
- ii) Tinggi Lampu – Merujuk kepada tinggi pemasangan lampu dari lantai sama ada lampu tersebut jenis gantungan atau jenis lekapan siling.
- iii) Tinggi lampu dari satah kerja merujuk kepada tinggi lampu dari permukaan meja atau tempat cahaya itu disukat atau dikehendaki.

Rajah 2.2 menunjukkan dimensi bagi pengukuran pemasangan lampu.



Rajah 2.2 : Dimensi pengukuran bagi pemasangan lampu

- a = Tinggi Siling dari Lantai
- b1 = Tinggi dari lantai ke lampu jenis lekapan siling (*ceiling recessed*)
- b2 = Tinggi dari lantai ke lampu jenis gantungan (*mounted high*)
- c = Tinggi dari satah kerja ke lampu
- d = Tinggi satah kerja

2.1.5 Penentuan Bilangan Lampu Yang Optimum Bagi Suatu Bilik

Bagi memahami tentang kaedah pengiraan yang perlu diambil kira dalam pengubahsuaian lampu bagi meningkatkan kecekapan tenaga sistem pencahayaan, suatu penganggaran tentang jumlah tenaga elektrik yang digunakan dalam pencahayaan ditentukan, [3]. Persamaan yang digunakan adalah:

$$KwhLit = \sum NLum,j \times WRLum,j \times N h, j \quad (2.10)$$

dimana,

$KwhLit$ = Jumlah tenaga sistem pencahayaan

$NLum, j$ = Jumlah bilangan sistem lampu jenis j yang dipertimbangkan. Sistem lampu adalah lengkap dengan balast, pendawaian elektrik, perumah dan mentol.

$WRLum,j$ = Kadaran kuasa (watt) bagi setiap sistem lampu jenis j. Dalam kadaran ini tenaga yang digunakan oleh kedua-dua lampu dan balast wajar diambil kira.

$N h, j$ = Jumlah jam beroperasi selama satu tahun bagi lampu jenis j.

h = Bilangan jenis pemasangan lampu dalam sesuatu bangunan

Oleh yang demikian, daripada persamaan 2.10, 3 kaedah dapat digunakan untuk mengurangkan penggunaan tenaga yang disebabkan oleh pencahayaan.

- i) Mengurangkan jumlah kadaran kuasa (Watt) bagi sistem lampu termasuk pencahayaan (mentol) dan peranti seperti balast, iaitu dengan mengurangkan faktor $WRLum,j$. Jumlah kuasa bagi sesuatu lampu boleh dikurangkan dengan mengurangkan jumlah lumen yang dikeluarkan oleh setiap lampu. Pengurangan jumlah lumen berkadar langsung dengan pengujian lux asal bagi suatu bilik.

- ii) Mengurangkan jumlah masa penggunaan lampu melalui kawalan lampu, iaitu dengan mengurangkan faktor $N_{h, j}$. Kawalan automatik dapat mengurangkan penggunaan lampu iaitu pencahayaan hanya akan disalurkan apabila diperlukan. Kawalan kecekapan pencahayaan menggunakan sistem penderiaan pintar dan kawalan memalapkan cahaya dengan menggunakan cahaya matahari.
- iii) Mengurangkan bilangan sistem lampu iaitu dengan mengurangkan faktor $N_{Lum, j}$. Jumlah pengurangan lampu hanya boleh dikurangkan apabila terdapat kes-kes pencahayaan lampau bagi sesuatu bilik.

Maka, melalui pengubahsuaian kepada faktor-faktor ini pengiraan terhadap jumlah tenaga yang digunakan dapat dilakukan. Penjimatan tenaga ini boleh dikira dengan mengira perbezaan di antara jumlah tenaga yang digunakan sebelum pengubahsuaian dan selepas pengubahsuaian.

2.1.6 Reka bentuk Pencahayaan

Dalam mereka bentuk sistem pencahayaan yang efisien semua faktor yang telah dinyatakan dipertimbangkan. Berikut adalah rumusan pengiraan yang wajar diambil kira dalam menentukan jumlah lampu yang wajar dipasang.

a) Jenis Bilik

Dalam bahagian ini jenis bilik yang dipilih adalah Makmal Kuasa, Makmal Mikropemproses, Bilik Tutorial 2 dan Bilik Tutorial 3. Seterusnya penyukatan jumlah lux cahaya pada bilik-bilik berkenaan disukat. Jumlah ini dibandingkan dengan nilai piawai yang ditetapkan dalam jadual.

b) Pengiraan jumlah lampu yang wajar dipasang adalah berdasarkan teori.

Prosedur bagi mengira jumlah lampu adalah seperti berikut:

i) Pengiraan indeks bilik

$$\text{Indeks Bilik} = \frac{\text{Panjang} \times \text{Lebar}}{(\text{Tinggi Lampu Dari Satah Kerja} \times (\text{Panjang} + \text{Lebar}))} \quad (2.11)$$

ii) Flux yang dipasang,

$$\begin{aligned}
 Flux &= \frac{Lux \text{ dikehendaki} \times Luas \text{ Bilik}}{Faktor \text{ Pendaraban Pengguna} \times Faktor \text{ Penyelenggaraan}} \\
 &= \frac{E \times A}{\mu \times \rho}
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

iii) Jumlah bilangan lampu

$$Bilangan \text{ lampu} = \frac{Flux \text{ yang dipasang}}{Lumen \text{ lampu}}
 \tag{2.13}$$

iv) Penentuan jarak pemasangan

$$Nisbah \text{ jarak ketinggian} = \frac{Jarak \text{ di antara lampu}}{Tinggi \text{ lampu yang dipasang}}
 \tag{2.14}$$

$$Jarak \text{ di antara lampu} = Nisbah \text{ jarak ketinggian} \times Tinggi \text{ pemasangan lampu}
 \tag{2.15}$$

$$Bilangan \text{ baris lampu} = \frac{Lebar \text{ bilik}}{Jarak \text{ di antara lampu}}
 \tag{2.16}$$

2.2 Penyejukan Sebagai Satu Unsur Kualiti

Penyejukan merupakan suatu aspek yang memberi pengaruh besar terhadap analisis ekonomi. Kajian ke atas sistem penyejukan sedia ada amat penting bagi memastikan ia benar-benar efisien dan menepati kehendak pengguna. Penghawa dingin berfungsi lebih daripada sekadar menyejukkan, malah ianya turut menapis habuk dan kotoran daripada udara yang melalui penapis. Penghawa dingin berfungsi untuk meningkatkan kelembapan, yang seterusnya akan mewujudkan keselesaan terhadap bilik. Berikut adalah beberapa aspek yang wajar diberi perhatian dalam meningkatkan kecekapan sistem sedia ada.

- i) Pemilihan spesifikasi penghawa dingin yang tepat.
- ii) Operasi penghawa dingin yang sesuai mengikut jumlah pengguna.
- iii) Penyelenggaraan ke atas penghawa dingin sedia ada.

2.2.1 Istilah-istilah Penyejukan

Unit Terma British

Satu daripada dua unit piawai yang digunakan dalam pengukuran jumlah tenaga disalurkan melalui proses, jumlah tenaga yang dipindahkan daripada satu lokasi ke satu lokasi, atau jumlah tenaga yang wujud seperti haba yang wujud dalam minyak. Secara spesifik, unit terma british adalah jumlah tenaga yang diperlukan untuk meningkatkan suhu satu paun air sebanyak satu darjah Fahrenheit.

$$1 \text{ Btu} = 0.293 \text{ watt-jam (Wj)} \quad (2.17)$$

Maka,

$$1 \text{ Btu/jam} = 0.293 \text{ watt} \quad (2.18)$$

Kapasiti

Kadar di mana beban penyejukan atau pemanasan dapat diatasi dengan menggunakan suatu sistem peralatan yang direka bentuk untuk menyejukkan atau memanaskan sesuatu premis. Kapasiti penyejukan atau pemanasan biasanya diberi plat nama peralatan dalam unit Btu/h. Dalam industri penghawa dingin, unit ton digunakan untuk merujuk kepada kapasiti peralatan.

$$1 \text{ ton kapasiti} = 12,000 \text{ Btu/h} = 3.52 \text{ kWh} \quad (2.19)$$

Nisbah Kecekapan Tenaga (EER)

Nisbah kecekapan tenaga pengukuran di mana kecekapan tenaga seketika bagi peralatan penyejukan. Biasanya, nisbah ini digunakan hanya untuk peralatan penghawa dingin elektrik. EER boleh dikira menggunakan rumus berikut:

$$\text{EER} = \frac{\text{Kadar tenaga haba keadaan mantap yang dipindahkan dari peralatan (Btu/j)}}{\text{Kadar tenaga masukan keadaan mantap bagi peralatan (watt)}}$$

$$\text{EER} = \frac{\text{Btu/j (Output)}}{\text{Watt (Input)}} \quad (2.20)$$

Piawai Kebangsaan Amerika Syarikat menetapkan EER bagi bilik perlulah sekurang-kurangnya 9.0 bagi cuaca yang sederhana panas dan melebihi 10 bagi cuaca

yang panas. Dari aspek ekonomi penggunaan penghawa dingin EER bernilai 10 dapat mengurangkan sehingga separuh kos bagi penggunaan penghawa dingin dengan EER bernilai SEER bagi suatu sistem adalah sentiasa lebih tinggi daripada COP sistem dengan faktor bersamaan dengan Btu/h bagi 1 watt kuasa atau 3.413.

Pemalar Pencapaian (COP)

Merupakan pengukuran bagi kecekapan tenaga seketika bagi peralatan penyejukan atau pemanasan. Ia menggambarkan nisbah keluaran tenaga keadaan mantap bagi peralatan terhadap kadar tenaga masukan keadaan mantap bagi peralatan. Kebanyakan COP bagi peralatan penyejukan adalah bernilai lebih daripada 1.

2.2.2 Pemilihan Spesifikasi Penghawa Dingin

Dalam pemilihan spesifikasi penghawa dingin, pertimbangan perlu diberi ke atas jenis sistem penyejukan yang diperlukan. Dua jenis sistem penyejukan yang harus dipertimbangkan adalah seperti berikut:

- i) Sistem Penyejukan Berpusat
- ii) Sistem Penyejukan Unit Terpisah

Sistem penyejukan berpusat berfungsi menyejukkan seluruh bangunan dengan mengalirkan udara sejuk melalui sesalur yang dihubungkan kepada setiap bilik. atau menggerakkan air dalam aliran pusing melalui paip ke setiap bilik melalui kipas penghembus. Pada hari ini sistem penyejukan berpusat dapat membekalkan keselesaan optimum bagi sesebuah bilik. Namun, kos bagi pemasangan sistem penyejukan berpusat adalah lebih tinggi daripada sistem penyejukan unit terpisah. Jika beberapa bilik perlu disejukkan, maka terdapat kemungkinan bahawa sistem penyejukan berpusat adalah lebih efektif dari segi kos. Justeru, kajian ini akan menekankan sama ada pemilihan sesuatu sistem penyejukan adalah efektif atau tidak. Sistem penyejukan terpisah dipasang pada tingkap atau secara binaan luar dinding. Sistem penyejukan unit bilik secara teorinya lebih murah berbanding sistem penyejukan berpusat. Walau bagaimanapun sistem penyejukan terpisah hanya mampu menyejukkan bilik yang dipasang sistem ini. Berikut disenaraikan spesifikasi sistem penyejukan sedia ada.

- i) Sistem Penyejukan Air Berpakej(WCPU)
- ii) Sistem Penyejukan Udara Berpakej (ACPU)

- iii) Sistem Penyejukan Udara Unit Terpisah (ACSU)
- iv) Sistem Penyejukan Udara Unit Tetingkap (ACWU)

2.2.3 Saiz Unit Penghawa Dingin

Setelah pemilihan jenis penyejukan yang optimum, pertimbangan ke atas saiz unit perlu dilakukan. Unit yang berkapasiti besar tidak semestinya menghasilkan penyejukan yang lebih baik. Hal ini disebabkan unit yang bersaiz besar akan menyebabkan penyejukan tidak seragam berlaku. Malah, unit yang bersaiz besar menyebabkan bilik disejukkan dengan pantas yang mengakibatkan penghawa dingin akan dihidupkan dan dimatikan dengan kerap. Keadaan ini akan meningkatkan kos. Sebaliknya, pemilihan unit yang terlalu kecil turut akan menyebabkan masalah. Unit berkapasiti kecil akan beroperasi secara malar menyebabkan penyejukan pada hari yang panas tidak mencapai suhu yang ditetapkan.

2.2.4 Pengiraan Kapasiti Beban Penyejukan

Penentuan beban penyejukan yang optimum adalah sangat penting bagi menjamin sistem dapat memenuhi keperluan dan kehendak pengguna. Pengiraan beban penyejukan yang tepat, memudahkan pengguna memilih sistem yang bersesuaian dengan bilik berkenaan. Prosedur bagi menentukan jumlah beban penyejukan adalah seperti berikut :

- i) Mengenal pasti cuaca sekeliling seperti suhu luaran dan kelembapan bagi lokasi bangunan.
- ii) Menentukan suhu dan kelembapan bilik yang ingin dikekalkan.
- iii) Pengiraan ke atas kadar maksimum bagi penyebaran haba ke bangunan atau daripada bangunan berkenaan, termasuklah pada dinding, siling, lantai dan tingkap.
- iv) Perhitungan ke atas jumlah haba yang dihasilkan oleh faktor manusia, peralatan, mesin dan pencahayaan

2.2.5 Prosedur Pengiraan Beban penyejukan

Adalah amat penting untuk memahami ciri beban yang terdapat pada lokasi bilik pengukuran. Pengetahuan tentang pemilihan, pemindaan dan rumusan ke atas data daripada jadual berdasarkan keadaan sekeliling amatlah penting. Pengiraan beban yang dilakukan adalah berdasarkan kaedah pengiraan beban yang diperkenalkan oleh *ASHRAE Handbook, 1989 Fundamentals*, [2]. Berikut adalah prosedur-prosedur penting dalam pengiraan beban.

i) **Pertimbangan keadaan sekeliling**

Dengan merujuk kepada Lampiran, Jadual A1 menyediakan keadaan luaran bagi negara-negara termasuk Malaysia. Lajur reka bentuk musim panas menyenaraikan suhu reka bentuk luaran dengan toleransi 1%, 2.5% dan 5%.

ii) **Pemilihan keadaan dalam bilik**

Bagi kajian ini, suhu bilik yang ingin ditetapkan adalah sebanyak 22 darjah Celsius berdasarkan ketetapan oleh pihak Jabatan Pembangunan Kampus Kejuruteraan USM.

iii) **Perolehan beban penyejukan beban penghantaran**

Pemindahan haba oleh komponen-komponen bangunan seperti dinding, atap dan cermin melalui proses konduksi dan olakan adalah dirujuk sebagai beban penghantaran.

Pemindahan haba penghantaran dirujuk oleh persamaan berikut:

$$Q = \frac{A\Delta T}{Rt} = UATD \quad (2.21)$$

di mana,

Q = kadar pemindahan haba, (W atau J/s)

A = nilai luas permukaan yang berserenjang dengan fluks haba, m^2

Rt = jumlah rintangan haba individu, ($m^2\text{°C/W}$)

TD = perbezaan suhu reka bentuk dalaman dan luaran

$$U = \frac{1}{Rt} = \text{pemalar pemindahan haba keseluruhan, W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$Rt = R1+R2+\dots+Rn \text{ bagi rintangan beban sesiri}$$

Nilai rintangan haba biasanya disediakan untuk ketebalan yang spesifik biasanya dirujuk sebagai U bagi bangunan umum. Bagi bahan binaan yang bergantung atau berubah dari segi ketebalan mengikut aplikasinya, nilai kealiran spesifik, k dijelmakan dalam terma unit ketebalan. Perhubungan di antara k dan U adalah seperti berikut:

$$R = \frac{1}{U} = \frac{L}{k} \quad (2.22)$$

di mana,

$$k = \text{kealiran spesifik, W/m}^2\text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{m}$$

$$L = \text{panjang laluan konduksi, m}$$

iv) **Pengiraan perbezaan suhu beban penyejukan (CLTD)**

Bagi mengenal pasti suhu bilik dan kelembapan sekeliling, konsep perbezaan suhu beban penyejukan digunakan. CLTD merupakan perwakilan terhadap suhu keadaan mantap bagi pemindahan haba melibatkan perbezaan sebenar di antara suhu bilik dalaman dan luaran. Pengiraan CLTD juga melibatkan penyebaran suhu jisim oleh bahan-bahan yang terkandung. Bagi dinding dan atap persamaan CLTD yang digunakan bagi reka bentuk ialah seperti berikut:

$$CLTD_C = [(CLTD + LM) K + (25.5- t_R) + (t_o - 29.4)] f \quad (2.23)$$

di mana,

$$CLTD_c = \text{nilai CLTD sebenar}$$

$$LM = \text{nilai anggaran bagi warna bangunan. } LM = 1 \text{ bagi berwarna cerah dan } 0.5 \text{ bagi gelap.}$$

$$Tr = \text{suhu dalaman bilik}$$

$$To = \text{purata suhu luaran}$$

f = kipas Ekzos (1 = tiada kipas, 0.75 = ada)

v) **Perolehan beban sinaran matahari**

Apabila cahaya matahari melimpahi pada permukaan, sebahagian daripadanya akan dipantulkan kembali. Bagi sebahagian yang tidak dipantulkan, ianya akan mengkonduksi melalui permukaan kaca dan diserap oleh bilik. Jadi sumbangan faktor ini dapat dikira menerusi persamaan berikut:

$$Q = A(SC)(SHGF)(CLF) \quad (2.24)$$

di mana,

Q = beban penyejukan perolehan daripada matahari, W

A = luas permukaan tingkap, m²

SC = pemalar kecerahan cermin bagi bilik

$SHGF$ = faktor pengaruh perolehan haba sinaran solar, W/m²

CLF = faktor penyejukan beban sekeliling

vi) **Pertambahan kepanasan disebabkan beban dalaman**

Peralatan-peralatan yang digunakan di dalam bilik memberi pengaruh yang besar terhadap kenaikan beban penyejukan. Sumbangan terbesar biasanya daripada beban pencahayaan lampu. Maka beban penyejukan yang disumbangkan oleh faktor peralatan beban dalaman boleh diterjemahkan seperti rumus berikut:

$$Q=P(CLF) \quad (2.25)$$

di mana,

Q = Beban penyejukan disebabkan peralatan, W

P = Kadaran kuasa masukan bagi peralatan yang digunakan, W

CLF = Faktor beban penyejukan yang bergantung pada jumlah jam operasi, kitaran udara dan pembinaan bilik

vii) **Pertambahan beban disebabkan faktor manusia**

Aktiviti manusia di lokasi kerja membebaskan tenaga haba secara berterusan.

Kadar penyebaran haba ini bergantung kepada tahap dan jenis aktiviti kerja yang dijalankan. Nilai sumbangan haba deria bagi manusia adalah seperti berikut :

$$Q = NG_S (CLF_S) \quad (2.26)$$

di mana

Q = haba deria bagi manusia merujuk kepada pekerjaan, W

N = bilangan pengguna bilik

G_S = perolehan haba deria bergantung kepada aktiviti dan masa mula masuk, W

CLF_S = faktor beban penyejukan bagi manusia

Nilai haba pendam daripada pengguna pula diperolehi menggunakan rumus berikut:

$$Q = NG_I \quad (2.27)$$

di mana,

Q = nilai haba perolehan daripada pengguna

N = bilangan pengguna bilik

G_I = perolehan haba pendam daripada penghuni bergantung kepada aktiviti dan masa mula masuk, W

2.3 Analisis Kesan Harmonik

Perkataan harmonik menerangkan gangguan dalam bentuk gelombang. Bentuk gelombang bagi arus dan voltan yang mempunyai harmonik adalah terherot dan tidak mengikut bentuk sinus gelombang masukan asal. Peralatan-peralatan tidak lurus merupakan peralatan di mana fasa arus tidak berkadar secara langsung dengan fasa voltan.

Masalah harmonik akan timbul apabila jumlah penggunaan beban tidak lurus melebihi 20% daripada jumlah beban tersambung. Bagi penggunaan beban tidak lurus,

pengguna terpaksa membayar lebih walaupun jumlah penggunaan tenaga adalah rendah disebabkan herotan dalam voltan dan arus. Kajian kesan harmonik yang dijalankan adalah bertumpu kepada beban komputer dan lampu pendarfluor. Dalam kajian ini pemeriksaan ke atas pemasangan komputer pada kotak agihan yang sama dengan litar lampu dijalankan. Kajian juga akan bertumpu kepada pengaruh komputer kepada lampu pendarfluor dalam sistem 3 fasa 4 wayar. Piawaian Electromagnetic Compatibility (EMC) EN61000-3-2 bagi input arus harmonik digunakan kerana ia merupakan satu piawaian yang amat popular bagi piawaian antarabangsa.

Dalam sistem 3 fasa 4 wayar, peralatan-peralatan tidak lurus yang disambung pada kotak agihan akan menyebabkan arus seketika wujud dan sebahagian daripadanya akan menyumbang kepada peningkatan arus dalam wayar neutral [14]. Sekiranya, arus neutral adalah lebih tinggi daripada jangkaan, maka ini akan mewujudkan harmonik gandaan tiga. Disebabkan arus harmonik mengurangkan faktor kuasa, maka, kesannya adalah terhadap syarikat pembekal tenaga.

2.3.1 Teori Harmonik

Secara umumnya, gelombang tidak sinus $f(t)$ berulang dengan sudut frekuensi ω boleh diwakilkan dalam siri fourier. Bagi suatu fungsi berkala yang mempunyai kitaran tempoh T, persamaan yang diwakili oleh fungsi tersebut adalah seperti berikut:

$$f(t) = f(t+nT) \tag{2.28}$$

dimana, n adalah integer

Berdasarkan Siri Fourier, fungsi bagi isyarat berkala yang bentuk tak sinus dengan frekuensi asas ω_o , boleh dinyatakan sebagai jumlah infiniti fungsi bentuk sinus bagi kosinus dan sinus yang merupakan hasil pendaraban kamiran frekuensi asas. Maka, fungsi $f(t)$ boleh dinyatakan sebagai:

$$f(t) = \frac{a_o}{2} + a_1 \cos \omega t + a_2 \cos 2\omega t + \dots \dots b_1 \sin \omega t + b_2 \sin 2\omega t \dots \tag{2.29}$$

$$\text{di mana } a_o = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt, \quad a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n\omega t dt$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n\omega t dt$$

Harmonik adalah bernilai ganjil jika n adalah ganjil dan bernilai genap jika n bernilai genap. Analisis bentuk sinus bagi setiap harmonik secara individu lebih mudah difahami berbanding keseluruhan gelombang yang terherot.

Jumlah Herotan Harmonik (THD) ditakrifkan sebagai nisbah punca min kuasa dua kandungan harmonik kepada punca min kuasa dua nilai kuantiti asas, [14]. THD merupakan suatu pengukuran kesetaraan bentuk antara gelombang harmonik dan komponen asas gelombang tersebut. THD juga boleh ditakrifkan sebagai ukuran bagi herotan yang terjadi disebabkan oleh harmonik. Persamaan berikut merupakan persamaan asas bagi THD.

$$THD = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1} \times 100\% \quad (3.7) \quad (2.30)$$

di mana, n= 1, 2, 3....

Persamaan bagi THD biasanya dinyatakan dalam bentuk peratusan daripada harmonik asas. THD_v ialah jumlah herotan harmonik voltan dan THD_i merupakan jumlah herotan harmonik arus. Suatu sistem kuasa itu dikatakan berkualiti jika peratus THD_i ≤ 20% dan THD_v ≤ 5%, [14].

Persamaan THD_v dan THD_i diberi oleh persamaan berikut:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \quad (2.31)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (2.32)$$