



**PUSAT PENGAJIAN KEJURUTERAAN
MEKANIK
UNIVERSITI SAINS MALAYSIA**

LAPORAN PROJEK TAHUN AKHIR

**REKABENTUK SISTEM PENYEJUKAN
PENGERING DENGAN BANTUAN SISTEM
PENYEJUKAN PENYRAPAN**

Disediakan Oleh

MUHAMAD HASNUSI HASHIM

NO MATRIK: 50779

FEBRUARI 2001

**Disertasi Ini Dikemukakan Kepada
Universiti Sains Malaysia
Sebagai Memenuhi Sebahagian Daripada Syarat Keperluan Untuk
Pengijazahan Dengan Kepujian
SARJANA MUDA KEJURUTERAAN
(KEJURUTERAAN MEKANIK)**

ABSTRAK

Industri sistem penyejukan dan penyamanan udara menghadapi beberapa cabaran yang sengit menjelang abad baru ini. Antara cabaran yang paling utama ialah untuk meningkatkan sistem penyejukan dan penyamanan udara pada satu tahap yang paling efisien dari segi penggunaan tenaga dan kos yang terlibat. Pada masa kini hampir keseluruhan sistem penyejukan dan penyamanan udara menggunakan kuasa elektrik atau bahan api fosil untuk menjalankan operasinya. Kesemua tenaga ini tidak dapat diperbaharui malah akan kehabisan sumbernya selaras dengan populasi dunia yang semakin berkembang. Industri-industri maju seperti kilang-kilang pembuatan, pasaraya dan kawasan perumahan membangun dengan pesatnya. Di sini dapat dilihat bahawa beban penggunaan kuasa elektrik yang semakin meningkat selaras dengan permintaan guna tenaga dari industri-industri berkenaan.

Matlamat utama kajian ini ialah untuk merekabentuk sistem penyejukan bahan pengering (*desiccant cooling*) untuk digunakan bersama-sama dengan sistem penyejukan penyerapan (*absorption cooling*). Kedua-dua sistem ini menggunakan tenaga solar sebagai sumber tenaga utama untuk menjalankannya. Sistem penyejukan bahan pengering atau lebih dikenali dengan nama *Desiccant Cooling* merupakan satu sistem sokongan yang akan digunakan bersama-sama dengan sistem penyejukan penyerapan untuk menyejukkan sesuatu ruang yang tertutup.

Rekabentuk yang dibuat adalah untuk menggabungkan sistem penyejukan bahan pengering (*desiccant cooling*) dengan sistem penyejukan penyerapan (*absorption cooling*) dengan mengambilkira kesesuaiannya untuk digunakan di Malaysia.

PENGHARGAAN

Projek Tahun Akhir ini telah di sediakan di bawah bimbingan dan panduan penyelia projek saya, Dr. Zainal Alimuddin Zainal Alauddin, Dekan, Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik, Universiti Sains Malaysia, Kampus Cawangan Perak. Saya ingin merakamkan ribuan terima kasih yang tidak terhingga di atas jasa baik beliau dalam memberi ajaran dan nasihat kepada saya sepanjang projek ini dijalankan. Pertolongan beliau amat penting dalam menyelesaikan masalah-masalah yang timbul sepanjang projek ini disiapkan supaya ianya dapat dijalankan seperti mana yang dijadualkan.

Saya juga terhutang budi kepada semua kakitangan Pusat Pengajian Kejuruteraan Mekanik yang sentiasa bersedia untuk menghulurkan pertolongan kepada saya sepanjang projek ini berlangsung.

Akhir kata saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua sahabat handai saya yang terlibat secara langsung, ahli keluarga dan sebagainya yang telah memberikan dorongan bagi menguatkan semangat saya dalam menyelesaikan projek ini.

KANDUNGAN

Abstrak	i
Penghargaan	ii
Kandungan	iii

Senarai Kependekan dan Tatanama

BAB-1	PENGENALAN		
	1.1	Pengenalan kepada sistem penyamanan udara	1
	1.2	Matlamat Projek	3
BAB-2	PELBAGAI SISTEM PENYEJUKAN DAN PENYAMANAN UDARA		
	2.1	Pengenalan	4
	2.2	Jenis sistem penyejukan dan penyamanan udara	5
	2.2.1	Sistem penyejukan pengering	6
	2.2.2	Sistem penyejukan pengewapan	7
	2.2.3	Sistem penyejukan mampatan wap	8
	2.2.4	Sistem penyejukan penyerapan	9

BAB-3	ZON KESELESAAN PENYEJUKAN	
3.1	Pengenalan	10
3.2	Kriteria kesihatan dan keselesaan	11
3.2.1	Keselesaan dari pandangan psikologi	12
3.2.2	Keadaan keselesaan	13
3.3	Kualiti udara	14
3.3.1	Bahan pencemar yang wujud di dalam bilik	
3.3.1.1	gas karbon dioksida	17
3.3.1.2	Gas-gas lain	18
3.3.1.3	Campuran organik yang cepat berubah	19
3.3.1.4	Bahan-bahan yang khusus	19
3.3.2	Kaedah mengawal pencemaran	
3.3.2.1	menghapuskan punca pencemaran	20
3.3.2.2	agihan udara di dalam ruang	21
3.3.2.3	pembersihan udara	21
3.3.3	Anggaran haba hilang / haba di perolehi	22

BAB-4	SISTEM PENYEJUKAN PENGERING DAN PENYERAPAN	
4.1	Sistem Penyejukan Pengering	
4.1.1	Pengenalan	24
4.1.2	Faedah sistem penyejukan pengering	26
4.1.3	Operasi sistem penyejukan pengering	27
4.1.4	Jenis-jenis bahan pengering	
4.1.4.1	sistem bahan pengering cecair	29
4.1.4.2	silika gel	31
4.2	Sistem Penyejukan Penyerapan	
4.2.1	Pengenalan	34
4.2.2	Kitar penyerapan wap	35
4.2.3	pemalar kecekapan yang ideal (COP)	37
4.2.4	Jenis bahan penyerap	
4.2.4.1	Litium Bromida – air	38
4.2.4.2	Ammonia – akues	39
4.2.4.3	perbezaan LiCl – Ammonia	40

4.3	Kenapa perlu penyahlembapan	41
4.4	Aplikasi penyahlembapan	46
4.5	Jenis alat penyahlembapan di dalam pasaran	
4.5.1	penukar haba plat selari	50
4.5.2	roda (<i>wheel</i>)	54
4.5.3	MH 240 / MH 270	57
4.5.4	HCD 600	65
4.5.5	Siri VFB	68
4.5.6	Siri MVB	71
4.5.7	Penyahlembapan <i>Mighty dry</i> “45	74

BAB-5	REKABENTUK ALAT PENYAHLEMBAPAN	
5.1	Pengenalan	76
5.2	Pemasangan sistem penyejukan pengering dan sistem penyejukan penyerapan	77
5.3	Silika gel dalam sistem penyejukan pengering	80
5.4	Silika gel dalam sistem penyejukan mampatan wap	83
5.5	Pengiraan	
5.5.1	kandungan kelembapan dari peredaran udara	87
5.5.2	kandungan kelembapan dari manusia	88
5.5.3	kandungan kelembapan dari permukaan air	88
5.5.4	kandungan kelembapan yang terpeluwap dari produk	89
5.5.5	kandungan kelembapan oleh resapan	89
5.6	Larutan Litium Bromida –Air dalam sistem penyejukan penyerapan	90
5.6.1	Prestasi LiBr- Air	92
5.7	Saiz alat pengering yang diperlukan	94
5.8	Kuantiti dan harga Silika gel yang diperlukan	99
5.9	Plat pengumpul solar	
5.9.1	Pengenalan	
5.9.2	plat pengumpul solar	101
5.10	Perbincangan	
5.10.1	Kos	107
5.10.2	Had	110

BAB-6 KESIMPULAN

BIBLIOGRAFI

LAMPIRAN

Lampiran 1

Lampiran 2

Lampiran 3

Lampiran 4

Lampiran 5

Lampiran 6

Lampiran 7

Lampiran 8

Lampiran 9

Lampiran 10

Lampiran 11

Lampiran 12

Lampiran 13

Lampiran 14

Lampiran 15

Lampiran 16

SENARAI KEPENDEKAN DAN TATANAMA

HVAC	Heating, Ventilating and Air Conditioning
VOCs	Bahan organik mudah berubah (<i>Volatile Organic Compounds</i>)
ASHRAE Engineers	American Society of Heating Refrigerant and Air conditioning Engineers
HEX	alat penukar haba ' <i>heat exchanger</i> '
NREL	<i>National Renewable Energy Laboratory</i>
ERV	<i>energy recovery ventilators</i>
CFM	kaki persegi per minit (<i>cubic feet per minute</i>)
IAQ	Kualiti udara dalaman (<i>Indoor Air Quality</i>)
RH	kelembapan relatif (<i>relatif humidity</i>)
COP	pekali kecekapan prestasi (<i>Coefficient of Performance</i>)

1.1 PENGENALAN KEPADA SISTEM PENYAMANAN UDARA

Penyaman udara digunakan hampir keseluruhannya di setiap negara pada masa kini. Penyaman udara digunakan untuk mengekalkan suhu, kelembapan, kitaran udara dan kualiti udara di dalam persekitaran dalaman.

Pada masa dahulu faktor keselesaan pada kos yang berpatutan merupakan perkara utama yang dititikberatkan oleh perekabentuk HVAC yang mana mereka bertanggungjawab terhadap pembinaan bangunan dan penyelenggaraannya. Pada masa sekarang faktor kesihatan menjadi elemen yang sama penting dengan faktor keselesaan apabila seseorang penghuni berada di dalam sesebuah bilik.

Suasana yang selesa perlu juga mengambil kira faktor kesihatan kerana ia akan menyebabkan masalah kepada penghuni di dalam sesebuah bangunan tersebut sekiranya ianya diabaikan. Suasana di dalam persekitaran dalaman merupakan faktor yang akan mempengaruhi kualiti dan kecekapan proses di dalam berbagai industri. Antara industri yang menitikberatkan faktor ini ialah makmal penyelidikan, Jabatan Kesihatan, hospital dan sebagainya.

Kebanyakan bangunan yang moden dan serba lengkap mempunyai berbagai-bagai jenis aksesori seperti karpet, peralatan pejabat, langsir dan lain-lain. Antara bahan-bahan ini terdapat sesetengahnya yang mendatangkan bahaya kepada kesihatan manusia seperti campuran organik yang cepat berubah atau lebih dikenali sebagai '*volatile organic compounds*' (VOCs).

Terdapat istilah baru yang digunakan oleh ASHRAE iaitu '*sick building syndrome*' dan ianya berkait rapat dengan kualiti suasana di dalam sesebuah bilik. '*Sick building syndrome*' adalah istilah bagi sesebuah bangunan yang mempunyai bilangan penghuni yang luar biasa bilangannya dan mempunyai masalah fizikal. Walaupun faktor kesihatan, faktor keselamatan dan faktor ekonomi merupakan antara faktor-faktor yang masih dititikberatkan oleh industri sistem penyejukan dan penyamanan udara namun faktor keselesaan merupakan faktor yang masih diberi penekanan yang lebih mendalam.

Keselesaan dipengaruhi oleh suhu udara, kelembapan, gerakan udara dan radiasi terma dari permukaan yang berdekatan di dalam persekitaran tersebut. Namun begitu faktor-faktor lain seperti debu, bau dan kebisingan masih mempengaruhi keselesaan di dalam sesebuah bilik. Sistem sistem penyejukan dan penyamanan udara yang baik akan mengambil kira faktor-faktor yang telah disebutkan tadi di dalam had yang telah ditetapkan iaitu memenuhi kehendak pengguna, menepati kod bangunan dan mengikut etika kejuruteraan yang baik. Masalah yang kompleks ini merupakan satu cabaran kepada jurutera untuk melakukan rekabentuk, pembinaan dan operasi di dalam sesuatu sistem HVAC.

1.2 MATLAMAT PROJEK

Matlamat projek ini adalah seperti berikut :

1. Membuat rekabentuk sistem penyejukan pengering untuk digunakan bersama-sama dengan sistem penyejukan penyerapan.
2. Menerangkan dan mengaitkan tentang kelebihan serta faedah yang akan diperolehi hasil dari penggunaan sistem penyejukan pengering bersama-sama dengan sistem penyejukan penyerapan untuk digunakan di Malaysia.

Berikut ialah faktor-faktor yang telah diambilkira di dalam membuat projek ini :

- Membuat pemilihan terhadap jenis bahan pengering yang akan digunakan di dalam sistem penyejukan pengering.
- Mengenal pasti kesesuaian Sistem Penyejukan Pengering untuk digunakan di Malaysia.
- Kebaikan menggunakan tenaga solar di dalam Sistem Penyejukan Pengering dan Sistem Penyejukan Penyerapan
- Membuat penelitian terhadap rekabentuk terhadap penukar haba HEX yang digunakan di dalam '*Desiccant Dehumidifier*'

2.1 PENGENALAN

Malaysia merupakan sebuah negara membangun yang terletak di Zon Khatulistiwa yang beriklim tropika. Iklim ini menjadikannya panas dan lembab sepanjang tahun. Suhu dan kelembapan yang tidak menentu akan mendatangkan kesan buruk kepada manusia mahupun kepada bahan-bahan yang sensitif kepada perubahan suhu dan kelembapan. Jadi daripada masalah inilah sistem penyejukan dan penyamanan udara sangat di perlukan di Malaysia pada masa kini. Permintaan domestik yang semakin meningkat kepada sistem penyejukan dan penyamanan udara membuka peluang kepada berbagai-bagai jenis industri penyejukan dan penyamanan udara untuk membuka pasaran dan memperkenalkan produk-produk baru yang memenuhi kehendak pengguna.

Selaras dengan permintaan yang meningkat terhadap unit-unit penyejukan dan penyamanan maka peningkatan terhadap penggunaan tenaga elektrik dan bahan api fosil juga bertambah. Kedua-dua jenis tenaga ini tidak dapat diperbaharui dan akan kehabisan sumbernya pada masa akan datang. Jadi langkah-langkah perlu diambil untuk mengurangkan pergantungan terhadap sumber tenaga ini bagi kegunaan sistem penyejukan dan penyamanan udara. Antara kaedah yang digunakan termasuklah :

- i) meningkatkan halaju udara (peredaran udara)
- ii) mengurangkan kelembapan relatif
- iii) merendahkan suhu

Ketiga-tiga kaedah ini merupakan kombinasi untuk mencapai zon keselesaan penyejukan. Antara cadangan yang boleh dibuat untuk mencapai zon keselesaan ini ialah melalui :

- i) penggunaan kipas
- ii) penggunaan proses penyahlembapan menggunakan bahan pengering (*desiccant dehumidifier*)
- iii) menggunakan kitar penyerapan wap yang menggunakan tenaga solar atau pemanasan dari pembakaran biojisim.

2.2 JENIS SISTEM PENYEJUKAN DAN PENYAMANAN UDARA

2.2.1 Sistem Penyejukan Penyerapan

Pada tahun 1990 dianggarkan 4.1 EJ (3.9 suku) sumber tenaga utama adalah digunakan untuk menyejukkan bangunan [1]. Permintaan terhadap guna tenaga ini akan semakin meningkat selaras dengan populasi dunia yang semakin meningkat dan pertukaran kepada keadaan cuaca yang semakin panas. Ini mendorong kepada penyelidikan dan pembangunan (R&D) terhadap sistem penyejukan pengering pada masa sekarang. Sistem ini menggunakan bahan pengering (*desiccant*) untuk menyerap kelembapan dari udara. Haba diperlukan untuk menjanakan bahan pengering yang digunakan dan haba tersebut mungkin diperolehi dari sumber tenaga solar yang

diperolehi dari pengumpul tenaga solar atau pembakaran biojisim. Jadi ini dapat mengurangkan penggantungan terhadap penggunaan tenaga yang tidak boleh diperbaharui seperti sumber tenaga fosil.

2.2.2 Sistem Penyejukan Pengewapan (*evaporative cooling*)

Sistem penyejukan pengewapan elektrik juga dikenali sebagai sistem penyejukan adiabatik. Sistem ini telah dikenali ramai dan telah digunakan bertahun-tahun lamanya di negara yang beriklim panas dan kering. Apabila udara luar melalui wap-wap air maka hampir keseluruhan haba akan diserap oleh air tadi melalui proses pengewapan. Terdapat 2 jenis sistem di dalam sistem penyejukan pengewapan iaitu :

- 1) sistem pengewapan langsung (*direct evaporative systems*)
 - ❑ proses pengewapan akan melembabkan udara
- 2) Sistem pengewapan tidak langsung (*indirect evaporative systems*).
 - ❑ proses pengewapan diasingkan daripada jaluran aliran udara dan ia menggunakan penukar haba untuk menyejukkan udara tersebut.

Ianya adalah mungkin untuk membuat satu rekabentuk sel photovoltaik solar (PV) untuk membekalkan sebahagian atau sepenuhnya tenaga elektrik bagi menjalankan operasi unit tersebut.

2.2.3 Kitar Penyejukan Mampatan Wap (*Vapour Compression Cycle*)

Proses penyejukan Kitar Rankine menggunakan kitar mampatan wap yang sama dengan penyaman udara konvensional. Pengumpul solar akan memanaskan bendalir kerja, di mana bendalir kerja tersebut mempunyai titik pengewapan yang rendah. Bendalir kerja seterusnya akan menjalankan enjin haba Kitar Rankine. Teknologi ini walaupun bagaimanapun masih di dalam kajian dan ianya tidak digunakan secara meluas kerana memerlukan sebuah sistem yang bersaiz besar.

2.2.4 Penyaman udara dan Penyejuk menggunakan kuasa Sel Photovoltaik.

Kuasa yang diperolehi dari sel photovoltaik boleh digunakan untuk menjalankan operasi seperti penyejuk pengewap dan peti sejuk. Di dalam sesetengah kes, sejenis alat yang dipanggil '*inverter*' diperlukan untuk menukarkan voltan yang rendah kepada voltan yang lebih tinggi dan arus terus (DC) kepada arus ulang-alik (AC) yang mana kedua-duanya dihasilkan oleh plat-plat photovoltaik. Jadi adalah mungkin untuk merekabentuk plat-plat (barisan) sel photovoltaik untuk membekalkan sebahagian atau sepenuhnya tenaga elektrik untuk menjalankan operasi setiap sistem yang berkenaan. Sistem sel photovoltaik ini digunakan dengan meluas bagi penyejukan vaksin bagi kawasan terpencil di negara-negara membangun kerana masalah untuk mendapatkan sumber kuasa daripada talian penghantaran kabel elektrik ke kawasan tersebut. Antara kelebihan yang lain bagi sel ini termasuklah :

- kos kapital bagi sel ini adalah tinggi tetapi kos operasi dan kos penyelenggaraan adalah rendah
- tidak menghasilkan sebarang bahan buangan yang berbahaya
- ianya telah dibangunkan dengan meluas di beberapa negara membangun termasuk Jepun , Korea dan Thailand
- disebabkan Thailand mempunyai banyak kawasan pedalaman maka penggunaan sel PhotoVoltaik adalah efisien. Penggunaan sel photovoltaik di Malaysia adalah tidak efisien kerana negara ini mempunyai kawasan pedalaman berbukit-bukau yang terhad.
- ini bermakna sel PhotoVoltaik adalah sesuai digunakan di kawasan pedalaman yang berbukit-bukau untuk menukarkan pancaran cahaya matahari kepada tenaga elektrik dimana jaringan penghantaran kuasa (transmission line) adalah sukar dilakukan

Harga sel PhotoVoltaik

- bagi penghasilan tenaga arus terus 1300 ~ 1500 kWh , tenaga elektrik dapat diperolehi daripada 1 kW pemasangan modul sel PhotoVoltaik di Thailand.
- Ini bermakna bagi 1 kW modul sel PhotoVoltaik ianya dapat menghasilkan 1300 ~ 1500 kWh

2.2.5 Sistem penyejukan penyerapan

Sistem penyejukan penyerapan adalah satu teknologi yang telah lama digunakan di dunia pada hari ini. Untuk mendapatkan kecekapan yang paling tinggi, bendalir kerja mestilah dikekalkan pada suhu yang tinggi di dalam pemanas. Tetapi di dalam sistem pemanasan penyerapan yang konvensional, dimana tekanan malar adalah dikekalkan maka suhu bendalir kerja menurun dengan banyak. Huraian yang lebih mendalam terdapat di dalam Bab 4.

3.1 PENGENALAN

Setiap bangunan yang dibina adalah bertujuan untuk menyediakan satu keadaan suasana dalaman yang selamat dan selesa walaupun keadaan persekitaran luar yang begitu ketara perbezaannya. Salah satu faktor yang menjadikan sesebuah bangunan mempunyai rekabentuk yang berjaya adalah dipengaruhi oleh penyelenggaraan yang paling ekonomi terhadap keadaan persekitaran dalaman untuk mencapai kriteria-kriteria yang selamat dan selesa. Pengawasan terhadap keadaan persekitaran dalaman biasanya melibatkan sistem pemanasan dan penyejukan, rekabentuk pemanas, perolakan udara dan pemeriksaan terhadap kriteria-kriteria terma. Ini disebabkan ianya mempengaruhi kapasiti alatan yang akan digunakan dan tenaga yang diperlukan untuk menjalankan operasinya.

3.2 Kriteria kesihatan dan keselesaan

Suhu persekitaran luar yang bervariasi serta kelembapan yang berbeza pada kebiasaannya adalah melebihi had kesesuaian bagi seseorang manusia. Jadi ianya adalah berpatutan untuk melakukan pengubahsuaian terhadap keadaan persekitaran dalaman supaya ianya dapat mengekalkan tahap kesihatan serta keselesaan seseorang yang berada di dalam persekitaran tersebut.

Terdapat empat faktor yang mempengaruhi kemampuan tubuh badan untuk menghilangkan haba iaitu :

Suhu udara

Suhu permukaan objek di kawasan sekeliling

Kelembapan

Halaju udara (pergerakan udara)

Bagi merekabentuk sistem penyamanan udara, perhatian perlu diberikan kepada 4 faktor di atas secara teliti. Jika seseorang berada di dalam bilik dan memakai pakaian yang sepatutnya maka parameter-parameter di bawah dapat diguna pakai.

Suhu operasi : 20°C hingga 26 °C

Kelembapan : suhu '*dew point*' 2°C hingga 17 °C

Purata halaju udara : sehingga 0.25 m/s

3.2.1 *Keselesaan Dari Pandangan Psikologi*

Salah satu buku yang dikeluarkan oleh 'ASHRAE' adalah bertajuk '*Handbook of Fundamentals*' yang memberikan penerangan yang terperinci mengenai keselesaan terma bagi badan manusia dari prinsip psikologi.

Jumlah haba yang terhasil dan dibuang dari badan manusia berbeza dari pelbagai sudut termasuk aktiviti yang dibuat, umur, saiz badan dan jantina. Tubuh badan manusia mempunyai kitaran yang kompleks dalam sistem tindakannya di dalam usaha untuk mengekalkan suhu badan pada 98.6 °F (36.9 °C). Tubuh badan yang normal iaitu bagi seseorang yang sihat akan merasa selesa dengan keadaan persekitaran yang dapat dikekalkan pada keadaan di mana badan dapat mengekalkan imbalan terma dengan kawasan sekitar dengan senang.

Standard piawai 55 ASHRAE menyatakan keadaan-keadaan yang spesifik bagaimana untuk mencapai 80 % atau lebih dari bilangan penghuni sesuatu bilik merasa dapat menerima suasana terma bilik berkenaan. Faktor persekitaran yang memberi kesan terhadap imbalan terma seseorang dan secara langsung mempengaruhi keselesaan terma ialah seperti berikut :

Suhu '*dry bulb*' di kawasan udara sekeliling

Kelembapan di kawasan sekeliling

Halaju relatif udara di kawasan sekeliling

Commented [n1]:

Keadaan Keselesaan

Standard piawai 55 ASHRAE memberikan keadaan terma yang dapat diterima di dalam persekitaran kita. Standard piawai 55 ASHRAE juga menyatakan julat yang tertentu yang dapat diterima bagi beberapa kriteria seperti suhu operasi, kelembapan yang sesuai bagi manusia pada musim panas dan musim sejuk. Keadaan keselesaan di Malaysia tidak dipengaruhi oleh musim panas atau musim sejuk seperti di negara-negara lain maka kita hanya perlu pertimbangkan satu keadaan cuaca sahaja. Kita boleh mengambil standard yang diberikan merujuk kepada musim panas bagi keadaan di Malaysia. Bagi musim panas dan musim sejuk pengiraan adalah dibuat berdasarkan :

Musim panas : suhu operasi (*operative temperature*) adalah seperti berikut ;

- a) $t_o = 73 - 79 \text{ F (} 22.5 - 26^\circ\text{C)}$ pada 60 % kelembapan relatif
- b) $t_o = 74 - 80 \text{ F (} 23.5 - 27^\circ\text{C)}$ pada 36 F (2°C) suhu 'dewpoint'

Musim sejuk : suhu operasi (*operative temperature*) adalah seperti berikut ;

- a) $t_o = 68 - 74 \text{ F (} 20 - 23.5^\circ\text{C)}$ pada 60 % kelembapan relatif
- b) $t_o = 69 - 76 \text{ F (} 20.5 - 24.5^\circ\text{C)}$ pada 36 F (2°C) suhu 'dewpoint'

Pertimbangan juga harus diambil kira untuk mengawal suhu permukaan untuk mengelakkan daripada terjadinya proses kondensasi pada permukaan bangunan dan pada permukaan bahan yang digunakan untuk membuat bangunan tersebut.

3.3 KUALITI UDARA

Kualiti udara merupakan satu faktor yang perlu diambil kira untuk mengekalkan suasana persekitaran dalaman yang sihat dan selesa. Terdapat banyak punca pencemaran yang wujud di dalam persekitaran. Kualiti udara di dalam bilik adalah dikawal secara menghapuskan pencemaran yang wujud.

Peredaran udara memainkan peranan yang penting di dalam kedua-dua proses. Peredaran udara ditakrifkan sebagai membekalkan udara samada secara semulajadi atau secara mekanikal kepada sesuatu ruang yang dikehendaki. Peredaran udara adalah penting sekiranya ruang yang disejukkan tersebut mempunyai penghuni. Di dalam kebanyakan pemasangan penyamanan udara yang selesa, peratusan minimum peredaran udara adalah sekitar 10% hingga 20% daripada jumlah keseluruhan kadar aliran dari udara yang dibekalkan. Bagi aplikasi yang tertentu seperti hospital atau makmal haiwan, udara yang dibekalkan adalah datang dari persekitaran di luar dan dinyamankan untuk mengekalkan keadaan spesifik bilik berkenaan. Kitaran udara tidak berlaku di dalam pemasangan yang dibuat di hospital dan makmal haiwan.

Udara dari persekitaran luar yang dibawa masuk ke dalam sesuatu bangunan adalah bertujuan untuk menjadikan bangunan tersebut mempunyai udara yang menyelesakan dan menyihatkan. Haba yang terkandung di dalam udara dari luar ini mempunyai haba pendam dan haba deria yang lebih tinggi daripada udara yang wujud di dalam bilik. Maka ianya menjadi sebahagian daripada beban penyejukan. Haba pendam ialah haba yang menyebabkan kenaikan suhu udara manakala haba deria ialah haba yang bergantung kepada penambahan wap-wap air sekaligus meningkatkan kelembapan udara.

Persamaan untuk menentukan beban penyejukan bagi haba pendam dan haba deria adalah seperti di bawah :

$$Q_s = 1.1 \times \text{CFM} \times \text{TC}$$

$$Q_L = 0.68 \times \text{CFM} \times (W_o' - W_i')$$

di mana Q_s, Q_L = Beban penyejukan haba pendam dan haba deria
dari peredaran udara, BTU/hr

CFM = kadar peredaran udara, ft³/min

TC = perubahan suhu antara di dalam bilik dan di luar bilik

$W_o' - W_i'$ = nisbah kelembapan di luar dan di dalam bilik

Jadi jumlah haba, Q_t yang dibuang dari peredaran udara adalah seperti berikut :

$$Q_t = Q_s + Q_L$$

Kebiasaannya peredaran udara adalah berasal dari udara di persekitaran luar bilik (*outdoor air*) atau udara yang dikitar dan diedarkan di dalam bilik tersebut.

Jadual di bawah menunjukkan keperluan udara di persekitaran luar untuk peredaran udara bagi 3 jenis penghuni.

Fungsi	keperluan udara per penghuni, L/s		
	anggaran penghuni di dalam bilik per 100 m luas lantai	merokok	tidak merokok
pejabat	7	10	2.5
bilik mesyuarat	60	17.5	3.5
bilik menunggu	30	7.5	2.5

Daripada jadual tersebut dapat diperhatikan bahawa kuantiti udara yang lebih besar diperlukan untuk pencairan di kawasan yang mana penghuninya adalah terdiri dari perokok. Peredaran udara menyebabkan beban kepada peralatan penyejukan dan pemanasan maka ianya merupakan penyumbang terbesar dari segi penggunaan tenaga.

Jadi ruang yang berpenghuni dan kadar peredaran udara mesti dipertimbangkan secara teliti. Sebagai contoh sekiranya terdapat bilik yang dikhaskan untuk merokok di dalam sesebuah pejabat maka anggapan tidak boleh dibuat bahawa bilik tersebut mempunyai kadar peredaran udara yang sama dengan bilik-bilik yang tidak dibenarkan

merokok. Prospek penapis dan pembersih udara untuk peredaran udara juga mestilah diperiksa secara teliti.

Untuk mengekalkan kualiti udara yang baik ia mestilah melibatkan pengawalan terhadap gas-gas dan bahan yang mendatangkan pencemaran yang khusus di bawah satu tahap yang dapat diterima pakai di dalam suasana persekitaran dalaman. Pencemaran yang wujud di dalam sesebuah bilik mungkin terdiri daripada gas karbon dioksida, gas karbon monoksida, gas-gas lain seperti sulfur dioksida (SO_2), wap-wap air, bahan-bahan radioaktif, mikroorganisma, virus ataupun alergen. Simptom-simptom kesakitan seperti sakit kepala, loya, muntah, kegatalan pada mata atau hidung merupakan petanda awal bahawa kualiti udara di dalam sesuatu bilik berkenaan adalah berada pada tahap yang tidak memuaskan.

3.3.1 BAHAN PENCEMAR YANG WUJUD DI DALAM BILIK

3.3.1.1. *Gas karbon dioksida (CO_2)*

Gas karbon dioksida merupakan hasil buangan dari proses metabolisme manusia dan mamalia yang lain. Gas ini mempunyai peratusan yang lebih tinggi di dalam ruang persekitaran dalaman berbanding dengan persekitaran di luar bilik. Gas ini perlu lebih dititikberatkan sekiranya ruang yang mempunyai penghuni tersebut adalah merupakan sebuah auditorium.

Ianya bukanlah disebabkan oleh gas ini mempunyai kesan kesihatan yang langsung kepada manusia tetapi gas ini memberikan petunjuk secara terus kepada kita akan keberkesanan peredaran udara di dalam bilik berkenaan. Agensi Perlindungan Alam

Sekitar (*EPA*) telah menetapkan piawai bagi had maksimumnya sebanyak 1000 ppm (1.8 gm/m^3) untuk pendedahan terhadap gas ini secara berterusan khususnya untuk sekolah atau tempat tinggal dan ianya merupakan panduan bagi jenis-jenis bangunan yang lain.

3.3.1.2 Gas-gas lain

Gas karbon monoksida merupakan gas yang bertoksik. Pada paras 15 ppm sahaja ianya akan memberikan kesan yang besar kepada perubahan kimia badan manusia. Punca utama gas karbon monoksida adalah samada hasil daripada pembakaran yang tidak lengkap bahan hidrokarbon atau pembakaran dari asap rokok (tembakau). Simptom biasa kesan daripada gas ini ialah sakit kepala dan loya.

Gas sulfur dioksida adalah hasil daripada pembakaran bahan api yang mengandungi unsur sulfur dan ianya memasuki sesebuah bangunan melalui pengambilan udara daripada persekitaran luar atau kebocoran kepada sistem pembakaran di dalam bangunan tersebut. Apabila gas ini bergabung dengan air, ia akan menghasilkan asid sulfurik dan menyebabkan masalah kepada sistem respirasi kerana ia mengganggu kelembapan mukus membran.

3.3.1.3 CAMPURAN ORGANIK YANG CEPAT BERUBAH (*Volatile Organic Compounds*)

Gas formaldehid ialah salah satu gas yang berasal dari VOCs ini. Ianya memberikan kesan kegatalan pada mata dan mukus membran. Ia juga boleh menyebabkan kanser kepada manusia.

Formaldehid digunakan di dalam proses membuat karpet, penebat, tekstil, produk berasaskan kertas, shampoo, plastik phenolik dan barangan kosmetik. Produk-produk ini akan membebaskan gas formaldehid dalam jangka masa yang lama ianya digunakan. Had yang dibenarkan adalah di dalam julat sebanyak 1 ppm sahaja

3.3.1.4 *BAHAN-BAHAN YANG KHUSUS*

Sampel tipikal bagi kandungan udara di luar bilik mungkin mengandungi asap, silika, tanah, debu-debu dari haiwan reput, bakteria dan bahan-bahan yang lain. Saiz partikel-partikel ini berada di dalam julat kurang daripada 0.01 mikron (10^{-6} m). Jika berada di dalam udara, campuran ini dikenali sebagai *aerosol* dan apabila udara luar memasuki sesebuah bilik maka ianya akan lebih tercemar disebabkan oleh aktiviti manusia, perhiasan dan perkakasan di dalam pejabat ataupun haiwan peliharaan. Ini akan mendatangkan alergik kepada golongan yang tidak tahan terhadap bahan-bahan ini.

3.3.2 KAEDAH MENGAWAL PENCEMARAN

3.3.2.1. Menghapuskan / melakukan modifikasi terhadap punca pencemaran

Kaedah ini merupakan yang paling efektif untuk mengurangkan pencemaran yang dihasilkan secara tidak langsung oleh penghuni yang terdiri daripada manusia. Kaedah ini memerlukan bangunan yang hendak dibina dikenalpasti bahan dan perhiasan dalamannya secara spesifik untuk digunakan di dalam bangunan tersebut. Bagi bangunan yang telah dibina maka usaha perlu dibuat untuk mencari dan membuang punca pencemaran yang tidak diperlukan di mana fungsi tersebut tidak mengambil ruang di dalam bangunan tersebut.

Larangan menghisap rokok samada di dalam bangunan persendirian atau bangunan awam adalah langkah yang wajar untuk meningkatkan kualiti udara di dalam persekitaran bangunan tersebut. Penyimpanan cat, pelarut, pembersih, penyembur racun serangga dan sebagainya secara berdekatan dengan pengambilan udara ke dalam bilik biasanya akan mencemarkan kualiti udara di persekitaran dalam (IAQ). Maka bahan-bahan ini hendaklah disimpan di tempat yang telah dikhaskan dan jauh dari sumber pengambilan udara ke dalam bilik.

3.3.2.2 Agihan Udara Di dalam Ruang (*space air distribution*)

Apabila punca pencemaran dapat dikenalpasti maka gas-gas yang tidak diperlukan dapat dibuang dari ruang udara yang nyaman sebelum ianya merebak kepada ruang yang dihuni atau digunakan. Ini melibatkan pengawalan terhadap gerakan udara tempatan secara mewujudkan perbezaan tekanan. Perbezaan tekanan ini boleh dihasilkan melalui kipas atau pengagih masukan (*inlet diffuser*) dan masukan pengembalian udara (*air returns inlet*).

3.3.2.3 Pembersihan Udara (*air cleaning*)

Udara luar yang memasuki sesebuah bilik hendaklah dibersihkan atau ditapis untuk menambahkan kandungan oksigen yang diperlukan untuk pernafasan dan mencairkan gas karbon dioksida dan bahan buangan lain yang dihasilkan oleh penghuni bilik berkenaan. Pembersihan atau penapisan udara yang dikitar biasanya menjadikan kos lebih efektif terhadap pengawalan pencemaran udara di dalam bilik.

Rekabentuk sistem yang baik dan sempurna untuk pembersihan gas biasanya adalah langkah terakhir untuk memastikan bahawa sistem HVAC mampu membekalkan persekitaran dalaman yang sihat dan bersih.

3.4 ANGGARAN HABA HILANG DAN HABA DIPEROLEHI

Pemindahan haba melalui bangunan adalah dipengaruhi oleh ciri-ciri berikut :

- i) bahan-bahan yang digunakan
- ii) faktor geometri seperti saiz, bentuk dan orientasi
- iii) kewujudan punca haba dalaman
- iv) faktor iklim

Fungsi utama pengiraan yang melibatkan haba hilang (*heat loss*) dan haba diperolehi (*heat gain*) adalah untuk menganggar kapasiti yang diperlukan untuk pelbagai komponen penyejukan dan pemanasan supaya dapat mengekalkan keselesaan di dalam sesuatu ruang. Pengiraan tersebut adalah berdasarkan kepada keadaan beban puncak untuk penyejukan dan pemanasan serta sesuai dengan keadaan persekitaran. Nilai persekitaran luar bagi rekabentuk seperti suhu, kelembapan dan keamatan solar adalah diperolehi melalui buku yang dibangunkan oleh ASHRAE.

Beban dapat dibahagikan kepada 4 kategori iaitu :

- i) elemen pemindahan (*transmission element*)
- ii) Solar
- iii) Penyerapan (*infiltration*)
- iv) Dalaman (*internal*)

Elemen pemindahan (*transmission element*)

- Haba yang hilang atau haba yang diperolehi adalah bergantung kepada perbezaan suhu yang merentasi setiap elemen bangunan.

Solar

- Haba yang diperolehi adalah bergantung kepada transmisi tenaga solar yang melalui bangunan yang lutsinar (lut cahaya).
- Haba yang diperolehi juga berasal dari penyerapan oleh benda legap yang terdapat di dalam bangunan tersebut.

Penyerapan (*infiltration*)

- Haba yang diterima atau haba yang diperolehi adalah bergantung kepada penyerapan udara luar ke dalam ruang yang telah disejukkan.

Dalaman (*internal*)

- Haba yang diperolehi adalah bergantung kepada haba yang dibebaskan di dalam ruang yang berkenaan.
- Contohnya : lampu, orang, peralatan dan sebagainya.

Kehadiran beban-beban ini akan meningkatkan suhu di dalam ruang berkenaan maka peralatan penyejukan dan pemanasan akan beroperasi untuk mengekalkan suhu yang diperlukan di dalam bilik berkenaan.

4.1 SISTEM PENYEJUKAN PENGERING

4.1.1 PENGENALAN

Sistem penyejukan pengering telah dimajukan pada awal tahun 1950-an. Sistem ini terdiri daripada kombinasi motor pengeringan dan penyejukan pengewapan. Pada masa tersebut sistem ini hanya mampu memberikan penyejukan tetapi tidak mempunyai kecekapan berbanding dengan sistem penyejukan mampatan wap (*vapour compression*). Ini telah dibuktikan dengan kajian oleh Suruhanjaya Eropah pada tahun 1970-an.

Pada masa kini sistem penyejukan pengering lebih dikenali ramai selaras dengan Penyelidikan dan Pembangunan (R&D) yang telah dibuat terhadap sistem ini. Di Sweeden, teknologi penyejukan pengering telah dijual dan ianya bersaing hebat dengan sistem tekanan wap (*vapour pressure system*). Secara perlahan-lahan ianya telah diperkenalkan di United Kingdom dan Suruhanjaya di Eropah telah mengenal pasti bahawa sistem ini boleh beroperasi dengan bantuan tenaga solar.

Penyejukan pengering menjadikan udara seakan-akan sejuk selepas melalui proses penyahlembapan. Ini bermakna sistem penyejukan jenis ini akan ‘membuang’ hampir keseluruhan kelembapan yang terdapat di dalam udara. Di dalam sistem ini, udara dari luar yang panas dan lembap akan melalui roda penyerap air (*water-absorbing wheel*) yang berputar. Roda tersebut akan menyerap hampir keseluruhan kelembapan udara yang terkandung di dalam udara yang memasuki roda penyerap tadi. Inilah yang dinamakan penyejukan pengering di mana udara akan dipanaskan dan dikeringkan.