

PEMBANGUNAN PROGRAM TROPIC UNTUK SIMULASI PEMBOLEH-
UBAH BUMBUNG TERHADAP KESELESAAN DALAMAN DI MALAYSIA.

MUHAMMAD SYARIF HIDAYAT

Tesis ini dikemukakan
sebagai memenuhi syarat penganugerahan
ijazah Doktor Falsafah

Fakulti Alam Bina
Universiti Teknologi Malaysia

Ogos 2004

DEDIKASI

Untuk kesabaran isteriku Yayah Salamah dan
anakku Indah Siti Muthmainnah

PENGHARGAAN

Penulis ingin mengucapkan penghargaan ikhlas kepada Kementerian Sains dan Teknologi yang telah memberikan beasiswa untuk penyelidikan ini.

Penulis juga ingin mengucapkan penghargaan ikhlas kepada penyelia pertama tesis, Profesor Dr. Md. Najib bin Ibrahim dan Prof. Madya Dr. Mohd. Hamdan bin Ahmad, selaku penyelia kedua atas bimbingan dan dorongan yang diberi sepanjang tempoh penyelidikan ini.

Penulis ingin merakamkan penghargaan ikhlas kepada Dr. Mohd. Yusoff bin Senawi daripada Fakulti Kejuruteraan Mekanikal UTM yang telah sudi meluangkan masa untuk melakukan perbincangan mengenai sistem pendinginan dan pembangunan program.

Terakhir, penulis juga ingin merakamkan penghargaan ikhlas kepada Puan Halimah bte. Yahya sebagai pembantu makmal yang telah banyak membantu kelancaran penyelidikan ini.

ABSTRAK

Program-program simulasi bangunan yang dibangunkan masih berorientasi kepada penyelidikan. Oleh itu, sukar bagi para arkitek yang merekabentuk bangunan dengan pengalihudaraan semulajadi untuk menilai bangunannya. Tesis ini membincangkan usaha-usaha untuk memperolehi program simulasi bangunan yang cukup mudah dan mudahsuai sehingga boleh digunakan untuk menilai bangunan pada peringkat konseptual. Matlamat utama tesis ini adalah membangunkan sebuah program simulasi yang boleh menilai keadaan terma dalaman bangunan yang menggunakan pengalihudaraan semulajadi. Pada bahagian pertama tesis ini diterangkan prinsip-prinsip kawalan terma dalaman secara pasif melalui litupan bangunan. Gandaan haba yang diakibatkan oleh sinaran suria pada unsur-unsur litupan bangunan juga dibincangkan. Sebuah program baru, TROPIC, telah dibangunkan untuk mengira suhu udara ruang. Program baru ini menjalankan analisis sensitivitinya dengan menggunakan pembolehubah bumbung. Simulasi menunjukkan bahawa penebatan merupakan parameter yang paling sensitif dalam bumbung. Julat suhu udara yang diperolehi dalam ruang hunian adalah 1.7 °C. Pembolehubah ini boleh menurunkan suhu udara untuk ruang hunian sehingga kepada 29.3 °C. Gabungan pembolehubah yang menghasilkan suhu terendah menunjukkan bahawa terdapat sedikit penurunan suhu dalam ruang hunian iaitu 29.2 °C. Suhu udara yang dihasilkan ini menghampiri julat selesa penduduk Malaysia. Program baru ini diharapkan dapat membantu para arkitek di dalam menilai prestasi rekabentuk bangunannya sehingga keadaan dalaman yang lebih baik tercapai.

ABSTRACT

Building simulation program developed still refers to the research purpose. So, it is difficult for architects to evaluate their buildings, especially for naturally ventilated buildings. This thesis discusses the efforts to obtain a suitable building simulation program, which in turn can be used in conceptual stage. The main aim of this study is to develop building simulation program, which can be used in naturally ventilated buildings. In the first part of the thesis, the principles of passively controlled indoor temperature through building envelope are explained. The principles of heat gain calculation of each part of the building are also explained. The new computer programming, TROPIC, has been developed to calculate room air temperature. This program demonstrates sensitivity analysis, which use roof variables. The study indicates that insulation is the most sensitive parameter of the roof. The range of temperatures obtained in the living room is 1.7 °C. This parameter could achieve the lowest living room temperature as 29.3 °C. Parameters resulting lower indoor air temperature which run together in the program indicates a slightly lower air temperature than before, that is 29.2 °C. This temperature almost achieves the comfort range for Malaysian. This new program is expected to help architects and designers in evaluating their design in the preliminary design stage, so that the thermal indoor conditions would be better.

KANDUNGAN

Judul	i
Pengakuan	ii
Dedikasi	iii
Penghargaan	iv
Abstrak	v
Abstract	vi
Kandungan	vii
Senarai Jadual	xiii
Senarai Rajah	xvi
Senarai Simbol	xxi
Senarai Lampiran	xxviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Pernyataan Masalah	2
1.3 Matlamat dan Objektif Penyelidikan	4
1.4 Ruang Lingkup dan Had Penyelidikan	4
1.5 Kepentingan Penyelidikan	5
1.6 Persoalan Penyelidikan	6
1.7 Kaedah Penyelidikan	6
1.8 Kerangka Tesis	7

BAB II	KESELESAAN TERMA	9
2.1	Pendahuluan	9
2.2	Pemikiran Dasar Keselesaan Terma	9
2.2.1	Sistem Pengawalan Terma	10
2.2.2	Imbangan Haba	11
2.3	Faktor-Faktor Keselesaan Terma	12
2.3.1	Suhu Udara (T_a)	12
2.3.2	Suhu Sinaran Purata (T_{mrt})	13
2.3.3	Kelembapan Relatif (RH)	14
2.3.4	Laju Udara (V_a)	14
2.3.5	Aktiviti	15
2.3.6	Pakaian	16
2.3.7	Faktor-Faktor Lain	16
2.4	Pengukuran Keselesaan Terma	17
2.4.1	Sensasi Keselesaan Terma	17
2.4.2	Indeks Keselesaan Terma	18
2.5	Pendekatan kepada Keselesaan Terma	20
2.5.1	Model Universal	20
2.5.2	Model Adaptif	21
2.6	Piawai Keselesaan Terma	22
2.7	Penyelidikan Keselesaan di Malaysia	23
2.8	Ringkasan	24
BAB III	REKABENTUK PASIF	26
3.1	Pendahuluan	26
3.2	Kawalan Terma dan Rekabentuk Pasif	26
3.3	Pengalihudaraan Semulajadi dan Sistem Penyaman Udara	27
3.4	Bumbung sebagai Alat Rekabentuk Pasif	29
3.4.1	Pengertian bumbung	29
3.4.2	Jenis-jenis bumbung	30

3.4.3	Pembolehubah Bumbung	31
3.4.4	Aliran Haba dalam Bumbung	36
3.4.4.1	Sinaran	36
3.4.4.2	Perolakan	37
3.4.4.3	Pengaliran	38
3.4.4.4	Penyejatan	38
3.4.5	Sifat Terma Bahan	39
3.4.5.1	Haba Tentu dan Muatan Terma	39
3.4.5.2	Keberaliran Terma dan Daya Aliran	40
3.4.5.3	Keberintangan Terma dan Rintangan	41
3.4.5.4	Daya Aliran dan Rintangan Permukaan	42
3.4.5.5	Keberpancaran	42
3.4.5.6	Rintangan Terma Ruang Udara	43
3.4.5.7	Rintangan Menyeluruh	44
3.4.5.8	Keberhantaran atau Nilai- <i>U</i>	45
3.5	Perbaikan Prestasi Terma Bumbung	45
3.5.1	Mengurangkan Keberserapan Atap	46
3.5.2	Mengurangkan Keberaliran Atap	46
3.5.3	Pengalihudaraan Loteng	47
3.5.4	Memberikan Penebatan	48
3.5.5	Mengurangkan Keberpancaran Siling	49
3.6	Ringkasan	50
BAB IV	PENGANGGARAN TENAGA DAN SUHU RUANG	51
4.1	Pendahuluan	51
4.2	Penganggaran Tenaga dalam Bangunan	51
4.3	Kaedah Penganggaran Tenaga dalam Bangunan	53
4.3.1	Kaedah <i>Single Measure</i>	54
4.3.2	Kaedah <i>Multiple Measure</i>	55
4.3.3	Kaedah <i>Detailed Simulation</i>	55
4.4	Faktor-Faktor Gandaan Haba	61

4.4.1	Suhu Udara-Suria	61
4.4.2	Sinaran Gelombang Pendek	63
4.4.3	Gandaan Haba Pengaliran Bumbung dan Dinding Luar	68
4.4.4	Gandaan Haba Pengaliran Pemisah Dalam, Siling dan Lantai	69
4.4.5	Gandaan Haba Tingkap Cermin	70
4.4.6	Gandaan Haba Lampu	75
4.4.7	Gandaan Haba Manusia	76
4.4.8	Gandaan Haba Peralatan	77
4.4.9	Gandaan Haba Penembusan Udara	78
4.5	Pengiraan Beban Pendinginan	79
4.6	Pengiraan Suhu Udara Ruang	79
4.7	Ringkasan	80
BAB V	KAEDAH PENYELIDIKAN	81
5.1	Pendahuluan	81
5.2	Rekabentuk Penyelidikan	81
5.2.1	Model Berskala	82
5.2.2	Kajian Empirik	82
5.2.3	Simulasi Komputer	83
5.3	Kaedah Pengesahan Program	84
5.4	Perbandingan Program Simulasi	85
5.5	Penjelasan Terperinci Program SHEAP-2	92
5.5.1	Teori Dasar SHEAP	93
5.5.2	Struktur Program SHEAP	97
5.5.3	Data Iklim	101
5.5.4	Pengesahan Program SHEAP-2	102
5.5.5	Kelemahan Program SHEAP-2	106
5.6	Ringkasan	107

BAB VI	PEMBANGUNAN PROGRAM SIMULASI BANGUNAN TROPIC	109
6.1	Pendahuluan	109
6.2	Prinsip Asas Program Simulasi Bangunan TROPIC	109
6.2.1	Matlamat Program Simulasi	110
6.2.2	Pendekatan Program Simulasi	111
6.2.3	Konsep Pembangunan Program Simulasi	114
6.3	Pembangunan Program Simulasi TROPIC	118
6.3.1	Pembangunan Model	118
6.3.2	Pengubahsuaian Cartalir	123
6.3.3	Pengubahsuaian Sumber Kod	126
6.3.4	Penambahan Sumber Kod	127
6.3.5	Masalah Pembangunan TROPIC	131
6.4	Ujikaji Sensitiviti Program TROPIC	133
6.4.1	Data Model Bangunan	133
6.4.2	Data Parameter Bangunan	139
6.4.3	Data Iklim	140
6.5	Pengesahan Program TROPIC	142
6.6	Ringkasan	147
BAB VII	ANALISIS SENSITIVITI PROGRAM TROPIC	148
7.1	Pendahuluan	148
7.2	Analisis Sensitiviti	148
7.3	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Bahan Atap	149
7.4	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Warna Atap	154
7.5	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Bahan Siling	158
7.6	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Pengalihudaraan Loteng	162
7.7	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Penebatan	165
7.8	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Sudut Bumbung	169

7.9	Sensitiviti Suhu Udara terhadap Orientasi Bumbung	173
7.10	Ringkasan	176
BAB VIII KESIMPULAN		178
8.1	Pendahuluan	178
8.2	Penemuan Penyelidikan	178
8.3	Perbincangan	183
7.1	Cadangan	184
RUJUKAN		185
LAMPIRAN		203 - 251

SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	MUKA SURAT
2.1. Skala tujuh-mata Bedford, Humphreys dan Nicol, dan ASHRAE	18
2.2 Ringkasan penyelidikan berkenaan dengan julat keselesaian terma di Semenanjung Malaysia	24
3.1 Pengaruh warna pada suhu atap keluli	31
3.2 Ringkasan penyelidikan yang dijalankan berkenaan dengan bumbung	35
4.1 Nilai-nilai daya serapan bahan binaan yang umum	62
4.2 Nilai-nilai daya pantulan suria untuk pelbagai jenis penutup bumi	65
4.3 Pekali cermin kuat ganda yang lazim untuk keberhantaran dan keberserapan yang digunakan dalam pengiraan komputer	72
4.4 Kadar metabolisme untuk manusia dewasa (Moller dan Woolridge, 1985)	77
5.1 Perbandingan Program Simulasi Bangunan	90
5.2 Parameter Iklim dan Data Rumah Model Houston	104
6.1 Perbandingan antara Program Simulasi SHEAP dan TROPIC	115
6.2 Jenis-jenis bumbung dalam Program TROPIC	128
6.3 Kod suhu udara zon dalam Program TROPIC	129
6.4 Data pembolehkan bumbung yang digunakan	137
6.5 Parameter bahan dinding dan tingkap	137
6.6 Parameter keluasan dan isipadu ruang	138

6.7	Parameter haba deria dan pendam	138
6.8	Perbandingan Program ARCHIPAK dan TROPIC	145
6.9	Data parameter model untuk pengesahan	145
7.1	Daya keberhantaran untuk lima bahan atap	150
7.2	Suhu udara maksimum untuk lima bahan atap dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	151
7.3	Suhu udara maksimum untuk lima bahan atap dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	152
7.4	Suhu udara maksimum untuk lima bahan atap dalam loteng (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	152
7.5	Keberserapan untuk tiga warna atap	154
7.6	Suhu udara maksimum untuk tiga warna atap dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	155
7.7	Suhu udara maksimum untuk tiga warna atap dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	156
7.8	Suhu udara maksimum untuk tiga warna atap dalam loteng (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	156
7.9	Daya keberhantaran untuk empat bahan siling	158
7.10	Suhu udara maksimum untuk empat bahan siling dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	159
7.11	Suhu udara maksimum untuk empat bahan siling dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	159
7.12	Suhu udara maksimum untuk empat bahan siling dalam loteng atas ruang tetamu (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	160
7.13	Suhu udara maksimum untuk empat bahan siling dalam loteng (Zon 1,2,3) dan ruang hunian (Zon 4,5,6)	162
7.14	Suhu udara maksimum untuk lima kadar pengalihudaraan loteng terhadap loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	163
7.15	Suhu udara maksimum untuk lima kadar pengalihudaraan dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	164
7.16	Daya keberhantaran untuk tiga penebatan	166
7.17	Suhu udara maksimum untuk tiga bahan penebatan dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	167
7.18	Suhu udara maksimum untuk tiga bahan penebatan dalam	

	loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	167
7.19	Suhu udara maksimum untuk tiga bahan penebatan dalam loteng (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	168
7.20	Suhu udara maksimum untuk lima sudut bumbung dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	170
7.21	Suhu udara maksimum untuk lima sudut bumbung dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	171
7.22	Suhu udara maksimum untuk lima sudut bumbung dalam loteng (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	172
7.23	Suhu udara maksimum untuk dua orientasi bumbung dalam loteng (Zon 1) dan bilik tidur depan (Zon 4)	174
7.24	Suhu udara maksimum untuk dua orientasi bumbung dalam loteng (Zon 2) dan bilik tidur belakang (Zon 5)	174
7.25	Suhu udara maksimum untuk dua orientasi bumbung dalam loteng (Zon 3) dan ruang tetamu (Zon 6)	175
8.1	Elemen bumbung yang menghasilkan suhu udara loteng maksimum tertinggi dan terendah	181
8.2	Perbezaan suhu udara maksimum dalam loteng dan ruang hunian	182
8.3	Perbandingan elemen bumbung pada tiga jenis bumbung	182

SENARAI RAJAH

NO. RAJAH		MUKA SURAT
2.1	Kesan suhu udara T_a ke atas suhu kulit purata T_{sk} (disesuaikan daripada Hoppe, 1988)	13
2.2	Kesan suhu sinaran purata T_{mrt} ke atas suhu kulit purata T_{sk} (disesuaikan daripada Hoppe, 1988)	14
2.3	Kesan kelembapan relatif RH ke atas suhu udara purata T_{mrt} (disesuaikan daripada Hoppe, 1988)	15
2.4	Kesan laju udara V_a ke atas suhu kulit purata T_{sk} (disesuaikan daripada Hoppe, 1988)	15
3.1	Faktor-faktor yang mempengaruhi keselesaan terma	29
4.1	Kaedah Rangkap Pindah untuk mengira Kadar Penyingkiran Haba dan suhu udara bebuli kering zon	59
4.2	Sudut suria untuk permukaan curam	67
4.3	Imbangan haba untuk cermin lutsinar	70
4.4	Cermin lutsinar dengan bentuk bayangan yang disebabkan oleh sirip tepi dan unjuran	73
5.1	Cartalir dipermudah aturcara komputer untuk untuk proses analisis tenaga dalam bangunan.	94
5.2	Pemahagian program SHEAP kepada program WFAC, SHEAP-2 dan PLASIM	98
5.3	Suhu udara dalaman yang dikira dan sebenar	105
5.4	Kadar pembebasan haba yang dikira dan sebenar	105
5.5	Suhu udara loteng yang dikira dan sebenar	105
6.1	Struktur Program TROPIC	112
6.2	Gandaan haba pada model	113

6.3	Cartalir aturancangan yang dimudahkan program TROPIC	124
6.4	Perbandingan hasil ujian yang dikeluarkan oleh TROPIC	132
6.5	Pelan lantai rumah sebenar	134
6.6	Pelan lantai rumah model	134
6.7	Pengagihan zon zon dalam loteng	135
6.8	Pengagihan zon zon dalam ruang hunian	135
6.9	Keratan bumbung rumah kos rendah	136
6.10	Orientasi bumbung rumah-rumah pada taman perumahan di Johor Bahru (Lokasi perumahan Taman Universiti dan Taman Mutiara Rini, Skudai, Johor Bahru)	138
6.11	Peta lokasi Johor Bahru dan Singapura	141
6.12	Perbandingan data iklim Johor Bahru dan Singapura	143
6.13	Perbandingan suhu udara enam hari seragam	143
6.14	Pengesahan program ARCHIPAK dengan TEMPER, CHEETAH dan QUICK	144
6.15	Perbandingan suhu udara loteng antara TROPIC dan ARCHIPAK	146
6.16	Perbandingan suhu udara ruang hunian antara TROPIC dan ARCHIPAK	146

SENARAI SIMBOL

A	-	Keluasan permukaan dalaman bagi sebuah bumbung atau dinding, (m^2)
A_c	-	Keluasan koridor, (m^2)
A_f	-	Keluasan lantai bagi ruang yang dinyamankan, (m^2)
A_i	-	Keluasan permukaan bagi permukaan i , (m^2)
A_{ow}	-	Keluasan dinding luar, (m^2)
A_r	-	Keluasan bumbung, (m^2)
AST	-	Masa Suria Ketara, (Apparent Solar Time)
A_w	-	Keluasan dinding, (m^2)
b_n	-	Pekali rangkap pindah, ($W/j/m^2/^\circ C$)
C	-	Haba tentu udara, ($W/kg/^\circ C$)
c_n	-	Pekali rangkap pindah, ($W/j/m^2/^\circ C$)
D	-	Pemisahan (jarak unjuran dengan tingkap cermin), (m)
d_n	-	Pekali rangkap pindah, ($W/j/m^2/^\circ C$).
d_n	-	Nombor rujukan hari, bermula daripada 1 pada hari pertama bulan Januari hingga 365 pada 31 haribulan Disember. Februari dianggap memiliki 28 hari.
det	-	Didefinisikan sebagai pengimbang (offset) antara projeksi mendatar dan tepi atas tingkap yang dipisahkan oleh jarak antara projeksi mendatar dan tepi bawah tingkap, (m)
ER_k	-	Kadar penyingkiran haba deria daripada ruang pada masa k , (W/j)
ER_k	-	Kadar pemindahan haba daripada sistem HVAC pada masa k , (W/j)
ER_{k-1}	-	Nilai awal daripada kadar pemindahan haba, (W/j)
ER_{max}	-	Penyingkiran haba deria maksimum oleh satuan pendingin, (W/j)
ER_{min}	-	Penyingkiran haba deria minimum oleh satuan pendingin, (W/j)
E_t	-	Persamaan waktu, (minit)

$FRADE$	-	Pecahan haba deria sinaran yang dilepaskan oleh peralatan.
$FRADP$	-	Pecahan haba deria sinaran yang dilepaskan oleh manusia
F_{sg}	-	Faktor pandang antara permukaan dan langit
F_{ss}	-	Faktor pandang antara permukaan dan langit
F_{s-sur}	-	Faktor pandang antara permukaan dan sekitarnya
$G_{L,k}$	-	Kadar pemindahan jisim udara luar yang menembusi ke dalam ruang pada masa k , (kg/j)
$G_{v,k}$	-	Kadar pemindahan jisim pengalihan udara pada masa k , (kg/j)
g	-	Pekali rangkap pindah udara ruang
g_{ij}	-	Faktor pemindahan haba sinaran antara permukaan i dan permukaan dalam j pada masa k , ($W/j/m^2/^\circ C$)
g_0, g_1	-	Faktor pemberat suhu udara ruang, ($W/j/^\circ C$)
h	-	Pekali pemindahan haba permukaan, ($W/j/ m^2/^\circ C$)
h_{ci}	-	Pekali pemindahan haba perolakan pada permukaan dalam i , ($W/j/ m^2/^\circ C$)
h_i	-	Pekali gabungan sinaran-perolakan pada permukaan dalaman, ($W/j/ m^2/^\circ C$)
h_o	-	Pekali pemindahan haba oleh sinaran gelombang panjang dan perolakan pada permukaan luar, ($W/m^2/^\circ C$)
H	-	Tinggi tingkap, (m)
HSB	-	Nisbah penapis mendatar
I	-	Sinaran suria keseluruhan, (W/j)
IAD	-	Sinaran suria terus yang diserap secara terus oleh tingkap cermin, ($W/j/m^2$)
IAd	-	Sinaran suria serakan yang diserap secara terus oleh tingkap cermin, ($W/j/m^2$)
ITD	-	Komponen terus daripada sinaran suria terhantar melalui tingkap cermin, ($W/j/m^2$)
IT_d	-	Komponen serakan daripada sinaran suria terhantar melalui tingkap cermin, ($W/j/m^2$)
I_d	-	Sinaran langit serakan pada permukaan bumi, ($W/j/m^2$)
I_{DH}	-	Sinaran suria terus pada permukaan mendatar, ($W/j/m^2$)
$I_{DH,k}$	-	I_{DH} pada masa k pada hari terpilih, ($W/j/m^2$)
I_{dH}	-	Sinaran langit serakan menuju permukaan mendatar, ($W/j/m^2$)

$I_{dH,k}$	-	I_{dH} pada masa k pada hari terpilih, (W/j/m ²)
I_{DN}	-	Sinaran suria terus pada satu permukaan bergarisan normal sinar suria, (W/j/m ²)
I_r	-	Sinaran suria yang dipantulkan dari permukaan persekitaran, dan berlaku pada satu keluasan permukaan, (W/j/m ²)
I_t	-	Sinaran suria menyeluruh yang berlaku pada permukaan, (W/j/m ²)
k	-	Masa, (hari)
k	-	Keberaliran terma, (W/j/m ⁰ C)
k_T	-	Unit panjang daya aliran antara ruang udara dan persekitarannya, (W/j/m ⁰ C)
L	-	Garis lintang lokasi dalam darjah, positif untuk belahan utara, (darjah)
L_e	-	Garis bujur tempatan, negatif apabila berada sebelah barat Greenwich, (darjah)
L_F	-	Panjang dinding luar, (m)
L_s	-	Garis bujur piawai, (darjah)
LON	-	garis bujur tapak, (darjah)
LSM	-	Masa piawai tempatan meridian, (darjah)
LST	-	Masa piawai tempatan, (jam, setelah tengah malam)
m	-	Jumlah permukaan dalam sebuah ruang
n	-	Indeks penjumlahan
N_i	-	Pecahan sinaran suria yang diserap yang mengalir ke dalam ruang
ohw	-	Lebar unjuran (m)
p_0, p_1	-	Pekali rangkap pindah udara ruang
p_2, p_i	-	Faktor pemberat suhu udara ruang
p_{ikinf}	-	Jumlah puncak daripada penembusan udara untuk ruang, (m ³ /min)
$q_{e,k}$	-	Gandaan haba pengaliran melalui sebuah bumbung atau dinding pada masa k , (W/j)
q_{infs_k}	-	Gandaan haba deria bagi penembusan udara pada masa k , (W/j)
q_{infl_k}	-	Gandaan haba pendam bagi penembusan udara pada masa k , (W/j)
$q_{i,k}$	-	Kadar haba yang dilepaskan permukaan i pada permukaan dalaman pada masa k dan merupakan sebuah rangkap kompleks daripada faktor-faktor iklim luaran, sifat-sifat terma litupan bangunan, (W/j/m ²)
$q_{L,k}$	-	Kadar gandaan haba ketika (instantaneous) daripada lampu pada masa k , (W/j)

q_k	-	Nilai semasa gandaan haba (W/j)
q_{k-1}	-	Nilai awal gandaan haba (W/j)
$q_{p,k}$	-	Gandaan haba secara pengaliran melalui sebuah pemisah dalaman pada masa k , (W/j)
$ql_{p,k}$	-	Haba pendam bagi manusia pada masa k , (W/j)
$ql_{e,k}$	-	Haba pendam bagi peralatan pada masa k , (W/j)
Q_k	-	Nilai semasa beban pendinginan, (W/j)
Q_{k-1}	-	Nilai awal beban pendinginan, (W/j)
Q'_k	-	beban pendinginan seluruh pada masa k , (W/j)
Q'_{k-1}	-	Nilai awal daripada beban pendinginan seluruh, (W/j)
$Q_{L,k}$	-	Beban pendinginan ruang pada masa k , (W/j)
Q^*_k	-	Beban pendinginan keseluruhan suatu ruang pada masa k , (W/j)
$q_{p,k}$	-	Gandaan haba secara pengaliran melalui sebuah pemisah dalaman pada masa k , (W/j)
$qsc_{e,k}$	-	Bahagian perolakan daripada $qst_{e,k}$, (W/j)
$qsc_{p,k}$	-	Gandaan haba perolakan pada masa k , (W/j)
$qsr_{e,k}$	-	Bahagian sinaran daripada $qst_{e,k}$, (W/j)
$qsr_{p,k}$	-	Gandaan haba deria pada masa k , (W/j)
$qst_{e,k}$	-	Kadar gandaan haba ketika daripada peralatan (W/j)
$qst_{p,k}$	-	Haba ketika yang dilepaskan orang, (W/j)
R_T	-	Rintangan menyeluruh bagi bidang, ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
R_1, R_2	-	Rintangan setiap lapisan, ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
$RE_{a,k}$	-	Kadar pemindahan haba perolakan lampu kepada ruang udara pada masa k , bagi peralatan dan penghuni (W/j)
$RE_{i,k}$	-	Kadar haba sinaran yang dilepaskan peralatan dan penghuni oleh permukaan i pada masa k , (W/j/m ²)
$RL_{i,k}$	-	Kadar haba sinaran yang dilepaskan lampu dan diserap oleh permukaan i pada masa k , (W/j/m ²)
$RL_{a,k}$	-	Kadar pemindahan haba perolakan lampu pada masa k , (W/j)
$RS_{a,k}$	-	Kadar haba suria yang masuk ke dalam tingkap dan ditiupkan ke dalam bilik dalam masa k , (W/j)
$RS_{i,k}$	-	Kadar tenaga suria yang masuk melalui tingkap dan diserap oleh permukaan i pada masa k dan bergantung pada data suria dan juga sifat-sifat cermin serta alat pembayang, (W/j/m ²)

S	-	Parameter prestasi unit pendingin.
SC	-	Pekali pembayang
$SCHE_k$	-	nisbah haba deria peralatan dilepaskan pada masa k terhadap haba deria peralatan maksimum yang dilepaskan
$SCHI_k$	-	Nisbah penembusan pada masa k terhadap kadar aliran penembusan udara maksimum yang mungkin.
$SCHL_k$	-	Nisbah jumlah Watt yang dipakai antara masa k dan $k-1$ terhadap yang digunakan.
$SCHP_k$	-	Faktor penghunian pada masa k ; pecahan daripada penghunian maksimum yang mungkin.
sfw	-	Lebar sirip tepi, (m)
sh	-	Tinggi bayangan, (m)
$SHGa$	-	Gandaan haba daripada sinaran suria terserap oleh tingkap cermin, (W/j)
$SHGt$	-	Gandaan haba daripada sinaran suria yang masuk ke dalam melalui tingkap cermin, (W/j)
SLF	-	Pecahan keluasan tingkap lutsinar pada suatu waktu tertentu pada suatu hari
sw	-	Lebar bayangan, (m)
t_a	-	Suhu bebuli kering udara luar, ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{a,k}$	-	Suhu udara luar pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{b,k \ n \ \Delta}$	-	Suhu dalam ruang sebelah ruang pada masa $k \ n \ \Delta$, ($^{\circ}\text{C}$)
t_b	-	Suhu dalam ruang sebelah ruang pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
t_e	-	Suhu Udara-Suria, ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{e,k \ n \ \Delta}$	-	Suhu Udara Suria pada masa $k \ n \ \Delta$, ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{i,k}$	-	Suhu seragam permukaan dalaman i pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{j,k}$	-	Suhu seragam permukaan dalaman j pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
t_o	-	Suhu udara luar, ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{r,k}$	-	Suhu permukaan dalam pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{r,c}$	-	Andaian suhu udara dalaman tetap, ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{r,k}^*$	-	Suhu larasuhu yang ditetapkan pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
$t_{v,k}$	-	Pengalihudaraan suhu udara pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
T	-	Suhu udara dalam ruang pada suatu masa, (K)
T_a	-	Suhu udara ambient, ($^{\circ}\text{K}$)

T_i	-	Suhu udara dalaman, ($^{\circ}\text{K}$)
T_k	-	Suhu udara ruang daripada nilai rujukan pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
T_{k-1}	-	Suhu udara ruang daripada nilai rujukan pada masa k , ($^{\circ}\text{C}$)
$THRAN$	-	Selang penginjapan larasuhu, ($^{\circ}\text{C}$)
T_{sa}	-	Suhu udara-suria, (K)
T_{sky}	-	Suhu langit, (K)
T_{sur}	-	Suhu objek di sekitar, (K)
U	-	Penghantaran terma udara ke udara suatu unsur, ($\text{W}/\text{j}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
U_c	-	Nilai U untuk koridor, ($\text{W}/\text{j}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
U_{ow}	-	Nilai U untuk dinding luar, ($\text{W}/\text{j}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
U_r	-	Nilai U untuk bumbung, ($\text{W}/\text{j}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
U_w	-	Nilai U untuk dinding, ($\text{W}/\text{j}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
VSB	-	Nisbah penapis menegak
v_0, v_1	-	Faktor pemberat gandaan haba
w_0, w_1	-	Faktor pemberat gandaan haba
W	-	Parameter yang menjadi sifat prestasi unit pendingin
x	-	Dimensi ruang (m)
α	-	Keberserakan terma (diffusivity)
α_s	-	Keberserapan permukaan terhadap sinaran suria;
β	-	Sudut Ketinggian suria, (darjah)
Σ	-	Sudut curam, diukur daripada garis mendatar, (darjah)
γ	-	Sudut azimut permukaan didefinisikan sebagai penyimpangan daripada garisan normal terhadap permukaan (digambarkan pada permukaan mendatar) dengan mengarah kepada Selatan, (darjah) (negatif apabila berada di utara daripada meridian tempatan).
δ	-	Sudut cerun curam suria (darjah)
τ	-	Keberhantaran, ($\text{W}/\text{m}^2/^{\circ}\text{C}$)
φ	-	Bahagian tuju sinaran dipantulkan (darjah)
λ	-	Sudut masa, bernilai kosong pada tengahari dan positif di sebelah pagi, (darjah)
ΔR	-	Perbezaan antara sinaran gelombang panjang yang berlaku pada permukaan daripada langit dan sekitarnya dan sinaran yang dilepaskan oleh jasad hitam pada suhu udara luar, (W/m^2).

Δ	-	Selang masa, (1 jam)
ρ	-	Ketumpatan udara, (kg/m^3)
ε	-	Keberpencaran hemisfera (hemispherical emittance) permukaan
σ	-	Pemalar Stefan Boltzman, 1.797×10^8
Σ	-	Sudut permukaan, (darjah)
θ	-	Sudut ketibaan, didefinisikan sebagai sudut antara sinar suria tiba dan garisan normal terhadap permukaan, darjah (untuk $0 \leq \theta < 90$ darjah)
ϕ	-	Sudut azimut suria, diukur searah jarum jam dari utara, (darjah)
ψ	-	Sudut orientasi dinding (azimut dinding), diukur searah jarum jam dari utara, (darjah)
Ω	-	Sudut susuk, (darjah)
Ω	-	Sudut azimut suria, diukur searah jarum jam dari utara, (darjah)
ζ	-	Sudut azimut suria, dan adalah sudut azimut permukaan, (darjah)
ASHRAE	-	American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
DOE	-	Department of Energy
DOD	-	Department of Defense

SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKA SURAT
A	PROGRAM TROPIC	203
B	SENARAI PEMBOLEHUBAH/ PARAMETER DALAM PROGRAM TROPIC	206
C	DATA BAHAN BINAAN	209
D	COMPRESSED SINGAPORE WEATHER DATA FOR SIX TYPICAL DAYS (Mohd. Yusoff Senawi,1992)	212
E	PENERBITAN PENYELIDIKAN	213
F	SUMBER KOD TROPIC	221

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebiasaannya arkitek merekabentuk litupan bangunan. Hasil rekabentuk ini kemudian dihantarkan kepada jurutera penyaman udara (HVAC). Para jurutera ini kemudian melaksanakan analisis terma dan merekabentuk keperluan sistem untuk mencapai tahap penyelesaian (Ellis dan Mathews, 2001). Dalam hal ini masalah timbul kerana menurut Holm dalam Mathews (2001) analisis terma ini dilakukan pada peringkat di mana keputusan rekabentuk telah dibuat. Oleh itu, sukar bagi arkitek untuk mengubah rekabentuknya sesuai dengan hasil analisis terma. Hal ini yang menyebabkan bangunan-bangunan tidak jimat dan memerlukan sistem penyaman udara yang besar.

Untuk rekabentuk litupan bangunan yang menggunakan sistem penyaman udara terdapat program simulasi yang dapat digunakan untuk membantu arkitek dan jurutera. Tetapi program simulasi itu tidak dapat digunakan secara terus untuk bangunan yang menggunakan pengalihudaraan semulajadi. Seterusnya program simulasi yang sediada lebih sesuai untuk penyelidikan kerana sungguhpun program ini jitu tetapi memakan masa yang lama (Shaviv, 1996). Program seperti ini juga tidak sesuai untuk digunakan pada tahap rekabentuk konseptual. Ini kerana pada peringkat ini kejituan tidak begitu penting tetapi program itu haruslah mampu menghasilkan banyak alternatif rekabentuk dalam masa yang singkat (Gratia, dan De Herde, 2002).

Untuk bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi, keadaan selesa dalam bangunan agak sukar dicapai kerana iklim di negara ini agak panas. Bagi daerah beriklim tropika dan lembap, seperti Malaysia, sinaran suria adalah merupakan sumber haba utama dalam bangunan. Daerah ini berada dalam laluan utama matahari sehingga mendapat pancaran yang cukup kuat. Arah sinar matahari yang bergerak antara 23.5° LU dan 23.5° LS menyebabkan matahari kadang-kadang berada pada posisi menegak. Di kawasan ini bumbung merupakan bahagian yang cukup penting daripada bangunan kerana ia menerima secara terus sinaran suria (Koenigsberger, 1965). Oleh itu, perlu penyelesaian khusus daripada bumbung sehingga boleh mengurangkan pancaran haba daripada suria. Oleh itu, penyelesaian dalam bangunan di kawasan ini lebih bermaksud mengurangkan ketidak selesaan yang diakibatkan oleh kesan-kesan negatif daripada litupan (CSC, 1987).

Pada umumnya simulasi digunakan pada bangunan yang menggunakan penyaman udara. Daripada program-program simulasi yang sudah dihasilkan, sangat sedikit program yang diperuntukkan bagi bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi. Tesis ini telah mengenalpasti struktur masukan program-program simulasi sediaada untuk dilihat kesesuaiannya digunakan dalam menilai keadaan terma bangunan pada peringkat konseptual. Perbandingan di antara program simulasi sediaada juga dilakukan untuk melihat masa operasi yang diperlukan untuk menghasilkan keluaran. Selain itu, dilihat kemungkinan-kemungkinan daripada program sediaada untuk dikembangkan menjadi program yang sesuai bagi menilai keadaan terma dalam bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi. Kaedah pengiraan yang jitu untuk program simulasi bagi menilai keadaan terma dalaman dalam bangunan juga dikenalpasti. Akhirnya, perancangan untuk membangunkan sebuah program simulasi baru juga diketengahkan.

1.2 Pernyataan Masalah

Tidak ada program simulasi bangunan yang mudah tapi jitu yang dapat

digunakan arkitek dalam rekabentuk bangunan. Secara umumnya, semua program simulasi sukar digunakan. Sebagai contoh Seperti program perisian DOE-2 yang dikeluarkan oleh Department of Energy (DOE) USA, merupakan salah satu program popular yang jitu kerana memiliki kaedah pengiraan terkini, iaitu pengiraan keadaan dinamik terma dalaman bangunan dengan menggunakan Faktor Pemberat (Hong, 2000). Program ini pula mengambil kira simpanan terma dalam litaran bangunan. Ia dapat menjalankan simulasi pemakaian tenaga setiap jam, loji pendinginan, kos tenaga dan jadual operasi. Walaupun perisian ini memiliki kelebihan-kelebihan sedemikian, namun perisian ini tidak dapat digunakan secara terus untuk menilai bangunan dengan pengalihudaraan semulajadi. Perisian ini pula sukar digunakan kerana tidak ramah pengguna.

Selain program DOE-2, terdapat juga program perisian BLAST. Program ini dikembangkan oleh Departement of Defence (DOD) USA. Program ini dirancang untuk mengira beban dan sistem tenaga terma dalam bangunan. Terdapat satu kelebihan program BLAST ini, iaitu ia telah menggunakan kaedah Imbangan Haba yang lebih tepat berbanding dengan kaedah Faktor Pemberat (Hong, 2000). Oleh itu, program ini memiliki kelebihan di dalam menyelesaikan persoalan-persoalan yang berkaitan dengan tenaga dalam bangunan. Namun persoalannya hampir sama seperti DOE-2, iaitu kelebihan yang dimiliki oleh perisian ini belum dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pengguna awam kerana ia masih merupakan alat bantu dalam penyelidikan.

Daripada dua contoh program perisian di atas, jelas bahawa program-program yang menggunakan kaedah pengiraan yang jitu masih memberikan tumpuan pada bangunan yang menggunakan tenaga untuk pendinginannya. Program-program di atas pula memerlukan masa yang panjang untuk difahami kerana tidak ramah pengguna dan lama pula masa operasinya. Program simulasi sedemikian tidak membantu para arkitek dalam rekabentuk bangunan dengan pengalihudaraan semula jadi pada peringkat konseptual.

1.3 Matlamat dan Objektif Penyelidikan

Matlamat utama tesis ini adalah membangunkan sebuah program simulasi yang boleh menilai keadaan terma ruang dalaman bangunan yang menggunakan pengaliharaan semulajadi.

Objektif tesis ini adalah sebagai berikut.

1. Memilih satu program simulasi bangunan untuk pengiraan pendinginan yang mudah digunakan.
2. Mengubahsuai program simulasi bangunan yang dipilih itu supaya dapat digunakan untuk tujuan simulasi bangunan yang menggunakan pengaliharaan semulajadi.
3. Melakukan ujikaji sensitiviti ke atas program simulasi yang telah diubahsuai untuk pembolehubah bumbung.

1.4 Ruang Lingkup dan Had Penyelidikan

Dalam pengiraan gandaan haba, beban pendinginan dan suhu udara, rumusan-rumusan yang digunakan secara terperinci adalah rumusan yang berkenaan dengan pemindahan haba. Oleh itu, rumusan yang berkenaan dengan penembusan (infiltration) dan penyejatan (evaporation) hanya merupakan rumusan hampiran (approximate).

Rumusan bagi penebatan yang digunakan dalam simulasi hanya mengambil kira penebatan jenis rintangan dan tidak mengambil kira penebatan jenis memantul sinaran (reflective).

Semasa ujikaji sensitiviti bangunan yang akan disimulasikan adalah rumah kos rendah yang menggunakan pengaliharaan semulajadi. Permukaan bahan atap yang diguna untuk bumbung dianggap rata untuk memudahkan proses pengiraan. Walaubagaimanapun, celah diantara bahan atap tetap dianggap ujud kerana ia membolehkan masuknya udara daripada luar. Kadar tukaran udara setiap jam yang

digunakan dalam ruang hunian dianggap tetap selama 24 jam. Data daripada ASHRAE dan ARCHIPAK dianggap dapat mewakili dengan tepat sifat termofizikal bahan.

Ujikaji sensitiviti simulasi ini telah dijalankan bagi kawasan Johor Bahru. Jabatan Perkhidmatan Kajicuaca Malaysia hanya memiliki data sinaran umum tetapi belum memiliki data sinaran serakan dan terus bagi Stesen Kajicuaca Johor Bahru. Oleh itu, data iklim yang digunakan sebagai masukan bagi simulasi ini adalah data iklim dari Singapura. Data iklim Singapura digunakan kerana Singapura berhampiran dengan Johor Bahru berbanding Bandar lain di Malaysia yang mempunyai stesen kajicuaca.

1.5 Kepentingan Penyelidikan

Dengan adanya program simulasi ini arkitek lebih mudah menghasilkan rekabentuk alternatif pada peringkat konseptual. Program ini sesuai untuk digunakan oleh arkitek pada peringkat rekabentuk konseptual, kerana pada peringkat ini kejituan tidak penting tetapi alternatif rekabentuk litupan perlu dihasilkan dengan banyak dan cepat. Programnya jitu tetapi indeks keselesaiannya tidak perlu jitu.

Dengan adanya program ini juga simulasi terma dapat dijalankan pada rekabentuk bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi. Kebiasaannya simulasi tidak dijalankan pada bangunan dengan pengalihan udara semulajadi kerana ketiadaan program simulasi yang sesuai. Masih banyak bangunan di Malaysia yang menggunakan pengalihan udara semulajadi seperti sekolah, masjid dan rumah kediaman kos rendah. Dengan demikian program ini dapat membantu meningkatkan keselesaan pada rekabentuk bangunan sedemikian.

1.6 Persoalan Penyelidikan

1. Apakah program simulasi sediaada sesuai dan dapat memberi hasil dengan cepat untuk digunakan pada peringkat rekabentuk konseptual?
2. Apakah program simulasi sediaada dapat digunakan untuk rekabentuk litupan bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi ?
3. Bagaimanakah hasil ujian sensitiviti daripada program diubahsuai untuk bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi?
4. Apakah kekurangan-kekurangan daripada data tempatan untuk digunakan dalam program simulasi?

1.7 Kaedah Penyelidikan

Penyelidikan ini dimulakan dengan melakukan kajian literatur terhadap program-program simulasi sediaada yang berkenaan dengan bangunan. Program-program ini akan disenaraikan dan dibandingkan berdasarkan aspek-aspek tertentu, seperti matlamat utama program, kaedah pengiraan yang digunakan dalam program, jenis program dan kemudahan program untuk diubahsuai. Program simulasi yang cukup mudah digunakan akan diubahsuai sehingga boleh menilai keadaan terma dalaman bangunan dengan pengalihan udara semulajadi.

Pengubahsuaian program simulasi meliputi dua aspek. Pertama, berkaitan dengan perubahan konsep: SHEAP-2 untuk bangunan yang menggunakan hawa dingin manakala TROPIC untuk bangunan yang menggunakan pengalihan udara semulajadi. Kedua, pengembangan aturancangan TROPIC yang merangkumi pengubahsuaian cartalir, sumber kod dan penambahan sumber kod. Untuk mengesahkan hasilnya, program simulasi TROPIC dibandingkan dengan program simulasi ARCHIPAK.

Ujikaji sensitiviti telah dijalankan ke atas program TROPIC untuk memastikan program ini berjalan dengan baik. Ujikaji sensitiviti ini berkaitan dengan tujuh pembolehubah bumbung iaitu bahan atap, warna atap, bahan siling,

pengalihudaraan bumbung, penebatan, sudut bumbung dan orientasi bumbung.

1.8 Kerangka Tesis

Bab Dua menerangkan faktor-faktor yang mempengaruhi keselesaan terma, yang meliputi suhu bebuli kering, suhu sinaran purata, kelembapan relatif, laju udara, tahap aktiviti dan rintangan pakaian. Selain itu, juga diterangkan indeks keselesaan terma dan pendekatan kepada keselesaan terma. Keselesaan terma untuk daerah tropika lembap juga telah diterangkan dalam bab ini.

Bab Tiga membincangkan rekabentuk pasif dalam bangunan, pengertian dan perbezaan rekabentuk pasif dan aktif. Perbincangan juga dilanjutkan dalam konteks bangunan dengan pengalihudaraan semulajadi dan strategi rekabentuk pasif. Dalam bab ini juga dibincangkan pemindahan haba pada bumbung yang merupakan tumpuan daripada strategi kawalan pasif bagi bangunan.

Bab Empat membincangkan kaedah penganggaran tenaga, iaitu kaedah *single measure*, *multiple measure* dan *detailed simulation*, termasuk seluruh aspek yang mempengaruhi faktor-faktor gandaan haba melalui pengiraan gandaan haba dan beban pendinginan pada bangunan. Akhir daripada perbincangan ini adalah pengiraan suhu udara ruang.

Bab Lima membincangkan kaedah penyelidikan yang digunakan dalam tesis ini. Perbincangan ditumpukan kepada pemilihan program simulasi yang sesuai. Hal-hal yang juga dibincangkan adalah rekabentuk penyelidikan berupa model berskala, kajian empirik dan simulasi komputer, termasuk perbandingan simulasi bangunan dan pemilihannya. Simulasi komputer terpilih SHEAP-2 yang meliputi struktur program, data iklim, pengesahan program SHEAP-2 dan kelemahannya juga dibincangkan.

Bab Enam membincangkan pembangunan program simulasi TROPIC. Hal-hal yang dibincangkan adalah pengubahsuaian program SHEAP-2 kepada TROPIC

yang meliputi pengubahsuaian model matematik, pengembangan aturancangan TROPIC termasuk pengubahsuaian cartalir, sumber kod, dan penambahan sumber kod. Pengesahan program TROPIC dan ujikaji sensitiviti program ini terhadap pembolehubah bumbung juga dibincangkan.

Bab Tujuh membincangkan analisis sensitiviti program TROPIC. Analisis ini meliputi sensitiviti pembolehubah bumbung terhadap suhu udara loteng dan ruang hunian. Pembolehubah yang terlibat adalah bahan atap, warna atap, bahan siling, kadar pengalihudaraan, bahan penebatan, sudut bumbung dan orientasi bumbung. Analisis sensitiviti juga dilakukan ke atas gabungan pembolehubah bumbung yang menghasilkan suhu udara ruang tertinggi dan terendah.

Bab Lapan menerangkan kesimpulan dan cadangan daripada penyelidikan ini. Kesimpulan ini mengandungi jawapan daripada persoalan yang diajukan di dalam Bab I. Bab ini diakhiri dengan perbincangan dan cadangan untuk penyelidikan lanjutan.

8.4 Cadangan

Penyelidikan ini telah membincangkan aspek-aspek yang berkenaan dengan pembangunan program simulasi pembolehubah bumbung untuk menilai keadaan terma dalaman. Penyelidikan lanjutan dicadangkan supaya diarahkan pada dua aspek utama seperti berikut:

A. Ujikaji dengan bangunan berskala.

Bangunan berskala adalah merupakan wakil daripada dunia sebenar. Data yang diperolehi daripada bangunan berskala ini cukup baik apabila dibandingkan dengan hasil simulasi. Untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih tepat, perbandingan perlu dijalankan dengan ujikaji bangunan berskala. Walaupun penyelidikan dengan menggunakan bangunan berskala memiliki pembolehubah yang tidak boleh dikawal.

B. Sistem pendekatan matematik untuk simulasi secara matra tiga.

Ramalan tenaga dan suhu dalam simulasi ini menggunakan kaedah rangkap pindah yang mengira setiap gandaan haba dan beban penyejukan dengan cara matematik biasa (lelurus). Dalam keadaan sebenar, dunia fizikal bersifat tidak lurus. Untuk menghasilkan hasil pengiraan yang lebih tepat perlu ramalan pengiraan dengan kaedah Imbangan Haba. Kaedah ini menjalankan pengiraan-pengiraan secara tidak lurus, terutama untuk mengira gandaan haba daripada sinaran suria.

RUJUKAN

Abdul Malek b. Abdul Rahman (1994). "Design for Natural Ventilation in Low-Cost Housing in Tropical Climates." The Welsh School of Architecture. University of Wales College of Cardiff: Tesis Ph.D.

Abdulmalik b. Abdulshukor (1992). "Human Thermal Comfort in The Tropical Climate." The Barlett School of Architecture, Building, Environmental Design and Planning. University College London: Tesis Ph.D.

Adnan bin Husain (1997). "Investigation of Thermal Comfort in Factory Environment." Universiti Teknologi Malaysia: Tesis M.Sc.

Ahmad, Q.T. dan Szokolay, S.V. (1990). "Thermal Design Tools in Australia: A Comparative Study of TEMPER, CHEETAH, ARCHIPAK and QUICK." Department of Architecture, The University of Queensland.

AIA Research Coropration (1976). "New Design Concepts For Energy." Washington D.C.

Angus, T.A. (1968). "The Control of Indoor Climate." Pergamon Press, UK.

Akbari, H., Sarah, B., Kurn, D.M. dan Hanford, J. (2001) "Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs." *Building and Environment*. **36**.117-126.

Arens E.A, Blyholder A.G. dan Schiller, G.E. (1984). "Predicting Thermal Comfort of People in Naturally Ventilated Buildings." *ASHRAE Transactions*. **8(4)**.

- ASHRAE (1989). "ASHRAE Handbook: Fundamentals." SI edition. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc
- Ayres, J.M., dan Stamper, E. (1995). "Historical Development of Building Energy Calculations." *ASHRAE Transactions*. **101(1)**.
- Auliciem, A. (1972). "The Atmospheric Environment: A Study of Comfort and Performance." Research Publications. University of Toronto. Department of Geography.
- Auliciems, A. (1977). "Thermal Comfort Criteria for Indoor Design Temperature in the Australian Winter." *Architectural Science Review*.
- Baker, N. (1987). "Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates." London: Commonwealth Science Council.
- Balasubramaniya, R., Claridge, D.E, Norford, L.K., dan Krider, J.F. (1992). "A Multiclimatic Comparison of the Improved TC 4.7 Simplified Energy Analysis Procedure with DOE-2 ." *ASHRAE Trans*. 98(1). 305-319.
- Bedford, Thomas (1948). "Basic Principles of Ventilation and Heating." London: H.K. Lewis.
- Berdahl, P. dan Bretz, S.E. (1997) "Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials." *Energy and Buildings*. **25**. 149-158.
- Berger, G.S. dan de Dear, R.J. (1998). "Thermal Adaptation in the Built Environment: a Literature Review." *Energy and Buildings*. **27**. 83-96.
- Bario, E.P.D. (1998) " Analysis of the green roofs cooling potential in buildings." *Energy and Buildings*. **27**. 179-193.

- Bario, E.P.D. (2001) "Roof components models simplification via statistical linearisation and model reduction techniques." *Building and Environment*. **36**. 259-281.
- Berglund, L.G. dan Cunningham, D.J. (1986). "Parameters of Human Discomfort in Warm Environments." *ASHRAE Transactions*. **1(2)**.
- Bloomfield, D.P dan Lomas, K.J. (1992). "Assessing Programs which Predict the Thermal Performance of Buildings." Garton, U.K.: Building Research Establishment.
- Bloterberg, A., Carlsson, T., Svensson, C. dan Kronvall, J. (2001) "Air flows in dwellings-simulations and measurements." *Energy and Building*. **30**. 87-95.
- Billington dan Neville, S. (1952). "Thermal Properties of Buildings." London: Cleaver-Hume Press Ltd.
- Borse, G.J. (1985). "Fortran 77 for Engineers". Boston : PWS Engineering.
- Boukroune, K., Candau, Y., Piar, G. dan Jeandel, A. (1995) " Validation of a building thermal model by using ALLAN Simulation software." *Energy and Buildings*. **22**. 45-57.
- Brotherton, T.M., Kreider, J.F., Claridge, D.E., dan Norford, L.K (1987). "A Multiclimatic Comparison of the Simplified ASHRAE Building Consumption Model with DOE-2 Results." *ASHRAE Trans.* 93(2). 600-620.
- Buffington, D.E. (1975). "Heat Gain by Conduction Through Exterior Walls and Roofs – Transmission Matrix Method." *ASHRAE Transactions*. **81(2)**. 89-101.
- Burmeister, H. dan Keller, B. (1998) " Climate surfaces: a quantitative building-specific representation of climates." *Energy and Buildings*. **28**. 167-177.
- Cagamas Berhad (1997). "Housing the Nation: A Definitive Study." Kuala Lumpur.

- Cena, K., dan J.A. Clark (1981). "Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort." Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Chalkley, J.N. dan H.R. Cater (1968). "Thermal Environment. For The Student of Architecture." London: The Architectural Press.
- Chandra, S. dan Kerestecioglu, A.A. " Heat Transfer in Naturally Ventilated Rooms: Data from Full - Scale Measurements." *ASHRAE Transactions* **84-05.1**.
- Chapra C. Steven dan Reymond P. Canale (1998). "Numerical Methods for Engineers; with programming and software applications." 3rd edition. Singapore: WCB/ Mc. Graw Hill.
- CIBSE GUIDE (1980). "Thermal Properties of Building Structures." The Chartered Institution of Building Services, Lpndon.
- Citherlet, S., Clarke, J.A. dan Hand, J.A. (2001). "Integration in Building Physics Simulation." *Energy and Buildings*. **4**. 155-160.
- Clark, R.P. dan Edholm, O.G. (1985). "Man and His Thermal Environment." London: Edward Arnold Ltd.
- Coleman, Thomas, F. and Charles Van Loan (1988). "Handbook for Matrix Computations." Philadelphia : SIAM.
- Commonwealth Science Council (1987). "Passive and Low Energy Building Design for Tropical Island Climates."
- de Dear, R.J., Leow, K.G. dan Ameen, A.(1991). "Thermal Comfort in the Humid Tropics – Part I: Climate Chamber Experiments on Temperature Preferences in Singapore." *ASHRAE Transactions*. **1(2)**.
- de Dear, R.J. ., Leow, K.G. dan Ameen, A.(1991). "Thermal Comfort in the Humid

Tropics – Part II: Climate Chamber Experiments on Temperature Preferences in Singapore.” *ASHRAE Transactions*. **1(2)**.

De Dear, R.J. dan Leow, K.G. (1991) “Thermal Comfort in the Humid Tropics – Part I: Climate Chamber Experiments on Thermal Acceptability in Singapore.” *ASHRAE Transactions*. **16(2)**.

De Dear, R.J. dan Leow, K.G. (1991) “Thermal Comfort in the Humid Tropics – Part II: Climate Chamber Experiments on Thermal Acceptability in Singapore.” *ASHRAE Transactions*. **16(3)**.

Donn, Michael. (2001). “Tools for Quality Control in Simulation.” *Building and Environment*. **36**, 673-680.

Dorer, V. dan Breer, D. (1998). “Residential Mechanical Ventilation Systems: Performance Criteria and Evaluations.” *Energy Building*. **27**. 247-255.

Duffie, J.A. dan Beckman, W.A.(1974). “Solar Energy Thermal Processes.” New York: John Wiley and Sons. dlm. Mohd Yusoff. Tesis M Sc.

Eberhard, J.P. (1974). “Energy Conservation in Building Design.” United States: AIA Research Centre.

Eberhard, A.A. dan O’Donovan, M. (1990). “A Critical Review of the Usefulness of Microcomputer Based Design Tools for Passive Solar Design in Low Cost Housing in Developing Countries.” dlm. A Malek, Abdul Malek b. Abdul Rahman (1994) “Design for Natural Ventilation in Low-Cost Housing in Tropical Climates.” The Welsh School of Architecture. University of Wales College of Cardiff: Tesis Ph.D.

Edward, B. (1996). “Towards Sustainable Architecture: European Directives and Building Design.” Oxford: Butterworths Architecture.

Ehringer, H. dan Zito, U. (1984). “Energy Savings in Buildings.” Dodrecht:

D. Radel Publishing Co.

Ellis, M.W. and Mathews, E.H. (2001) “ A New Simplified Thermal Design Tool for Architects.” *Building and Environment*. **36**.1009-1021.

Ellias Salleh (1981). “Thermal Performance of Light-Weight Roofing in Hot Climate.” University of Sydney, Sydney, Australia.: Tesis M.Sc.

Eumorfopoulou, E. dan Aravantinos, D. (1998) “The contribution of a planted roof to the thermal protection of buildings in Greece. *Energy and Buildings*. **27**. 29-36.

Fanger, P.O. (1970) “Thermal Comfort: Analysis and Applications.” dlm. “Environmental Engineering.” New York: McGraw Hill Book Company.

Fernandes, E de Olivera, Woods, J.E. dan Faist, A.P. (1981). “Building Energy Management.” Pergamon Press Ltd.

Fountain, M., Arens,E., Xu, T., Bauman, F. dan Masa Oguru (1999). “An Investigation of Thermal Comfort at High Humidity.”
<http://www.dnai.com/~fountain/an.htm>

Fry, M. dan Jane, D. (1964). “Tropical Architecture in the Dry and Humid Zone.” London: BT Batsford Limited.

Gan, G. dan Croome, D.J. (1994). “Thermal Comfort Models Based on Field Measurements.” *ASHRAE Transactions*. **1(2)**.

Ganesh, R., Sauer, H.J., dan Howell, R.H. (1989). “Part-load Simulations of Simple Air-Conditioning Systems Using a New Coil Model.” *ASHRAE Transactions*. **95(1)**.

Givoni, B. (1976). “Man, Climate and Architecture.” 2nd. Ed. Great Britain: Applied Science Publisher.

- Givoni, B. (1962). "The Effect of Roof Construction upon Indoor Temperatures." dlm. "Man, Climate and Architecture." 2nd. Ed. Great Britain: Applied Science Publisher.
- Givoni, B. dan Shalon, R. (1962). "Influence of Ceiling Height on Thermal Conditions in Dwelling Houses in Beer-Sheva." dlm.: "Man, Climate and Architecture." 2nd. Ed. Great Britain: Applied Science Publisher.
- Givoni, B. dan Hoffman, E. (1968). "Guide to Building Design in Different Climatic Zone." dlm. Man, Climate and Architecture." 2nd. Ed. Great Britain: Applied Science Publisher.
- Givoni, B. (1998). "Effectiveness of Mass and Night Ventilation in Lowering the Indoor Daytime Temperatures." Part I: 1993 Experimental Periods. *Energy and Buildings*. **28**. 25-32.
- Gratia, E., dan De Herde, Andre. (2002). "A Simple Design Tool for the Thermal Study of Dwellings." *Energy and Buildings*. **34**. 411-420.
- Haghighat, F., Li. Y. dan Megri, A.C. (2001) "Development and validation of a zonal model-POMA." *Building and Environment*. **36**.1039-1047.
- Harkness, Edward, L. dan Madan, L.M (1978). "Solar Radiation Control in Buildings." England: Applied Science Publishers Ltd.
- Hayakawa, K., Isoda, N. dan Yanase, T. (1989). "Study of the Effects of Air Temperature and Humidity on the Human Body During Physical exercise in the Summer." dlm. Fountain, ME., et al., Arens, E., Xu, T., Bauman, F. dan Masa Oguru (1999). "An Investigation of Thermal Comfort at High Humidity." *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering Transactions of AIJ* No. 405.
- Hedlin, C.P. (1988). "Heat Flow Through a Roof Insulation Having Moisture Contents Between 0 and 1% By Volume, In Summer." *ASHRAE Transactions*

12-1.

- Hirokawa, Y. dan Horie, G. (1982). "Thermal Sensory Environment and Human Behaviour in the System of Indoor Living Spaces." dlm. *Energy and Buildings*. **4**. 263-276.
- Hodder, S.G., Loveday, D.L., Parsons, K.C. dan Taki, A.H. (1998). "Thermal Comfort in Chilled Ceiling and Displacement Ventilation Environments: Vertical Radiant Temperature Asymmetry Effects." *Energy and Buildings*. **27**. 167-173.
- Hohmann, L.M. (1981). "The Thermal Insulation of Roofs. in : Energy Conservation and Thermal Insulation." R. Dericott and S.S. Chissick. John Wiley and Sons Ltd.
- Holm, Dieter. (1983). "Energy Conservation in Hot Climates." London: The Architectural Press.
- Hong, T., Chou, S.K., dan Bong, T.Y. (1982). "Building Simulation: An Overview of Developments and Information Sources." *Buildings and Environment*. **35**. 347-361.
- Honmann, W.(1984). "Integration of Window Design and Orientation with Room Environmental Requirements." *ASHRAE Transactions*. **4**.
- Hooper, C. (1975). "Design for Climate: Guidelines for the design of Low-cost Houses for the Climates of Kenya." University of Nairobi. Nairobi: Housing Research and Development Unit.
- Hoppe, P. (1988). "Comfort Requirement in Indoor Climate." *Energy and Buildings*, **11**. 249-257.
- Humphreys, M.A. (1976). "Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied." *Applied Services Engineering*. **44**. 6-23.

- Humphreys, M.A. (1978.b). "Field Studies of Thermal Comfort Compared and Applied." dlm. "Energy, Heating and Thermal Comfort: Practical Studies from The Building Research Establishment." London: BRE Building Research Series. The Construction Press. **4**. 237-265.
- Humphreys, M.A. (1981). "The Dependence of Comfortable Temperatures Upon Indoor and Outdoor Climates." dlm. Cena, K. dan Clark, J.A. (Ed.) "Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort." Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Humphreys, M.A. dan Nicol, J.F. (1970). "An Investigation Into Thermal Comfort of Office Workers." *Journal of the Institution of Heating and Ventilating Engineers*. **38**. 181-189.
- Humphreys, M.A. dan Nicol, J.F. (1971). "Theoretical and Practical Aspects of Thermal Comfort." CP 14/71 Building Research Station, Department of the Environment.
- Jarmul, S. dan AIA. (1980). "The Architects Guide to Energy Conservation." New York: Mc Graw Hill Book Co.
- Jensen, S.O. (1995) "Validation of Building Energy Simulation Program: a Methodology." *Energy and Buildings*. **22**. 133-144.
- Jones, P.J. dan Whittle, G.E. ((1992). "Computational Fluid Dynamics for Building Air Flow Prediction – Current Status and Capabilities." dlm. Abdul Malek b. Abdul Rahman (1994) "Design for Natural Ventilation in Low-Cost Housing in Tropical Climates." The Welsh School of Architecture. University of Wales College of Cardiff: Tesis Ph.D
- Jones, B.W. et.al (1986). "The Effect of Air Velocity on Thermal Comfort at Moderate Activity Levels." *ASHRAE Transactions*. **1(2)**.

- Kammerud, R., Ceballos, E., Curtis, B., Place, W. dan Andersson, B. (1984).
“Ventilation Cooling of Residential Buildings.” *ASHRAE Transactions*. **84(05)**.
- Karyono, Tri Harso (1996). “Thermal Comfort and Energy Studies in Multi-Storey Office Buildings in Jakarta, Indonesia.” School of Architectural Studies, University of Sheffield.
- Khattar dan Mukesh, K. (1987). “Low Energy Building Program in Warm, Humid Climates: Program at the Florida Solar Energy Centre.” Florida Solar Energy Centre.
- Khedari, J., Hirunlabh, J. dan Bunnag, T. (1997) “Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses.” *Energy and Buildings*. **26**. 159-164.
- Khedari, J., Mansirisub, W., Chaima, S., Pratinthong, N. dan Hirunlabh, J. (2000)
“Field measurements of performance of roof solar collector.” *Energy and Buildings*. **31**. 171-178.
- Kim, T., Kato, S., dan Murakami, S. (2001) “Indoor cooling/heating load analysis based on coupled simulation of convection, radiation and HVAC control..” *Building and Environment*. **36**. 901-908.
- Knebel, D.E. (1983). “Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method.” Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Koch, W., Jennings, B.H. dan Humphreys, C.M. (1960). “Environmental Study II – Sensation Responses to Temperature and Humidity Under Still Air Conditions in The Comfort Range.” *ASHRAE Transactions*. **66**. 264.
- Koenigsberger, O. dan Lynn, R. (1965). “Roofs in The Warm Humid Tropics.” London: Lund Humphries. Paper no. 1.

- Koenigsberger, O.H., Ingersol, T.G., Mayhew, A. dan Szokolay, S.V. (1973).
“Manual of Tropical Housing and Building. Part One: Climatic Design.”
London: Longman.
- Kolokotroni, M., Webb, B.C. dan Hayes, S.D. (1998) “Summer Cooling with Night Ventilation for Office Buildings in Moderate Climates.” *Energy Buildings*. **27**. 231-237.
- Kusuda, T. (1976). “Procedure Employed by Using the ASHRAE Task Group for the Determination of Heating and Cooling Loads for Building Energy Analysis”. *ASHRAE Transactions*. **82(1)**. 305-314.
- Kusuda, T. (1981). “Comparison of Calculated Hourly Cooling Load and Attic Temperature With Measured Data for a Houston Test House.” *ASHRAE Transactions*. **87(1)**. 1185-1199.
- Kusuda, T. (2001). “Building Environment Simulation before Desk Top Computers in the USA through a Personal Memory.” *Energy and Buildings*. **33**. 291-302.
- Lauret, A.J.P., Mara, T.A, Boyer, H., Adelard, L., dan Garde, F. (2001). “A Validation Methodology Aid for Improving A Thermal Building Model: Case of Diffuse Radiation Accounting in A Tropical Climate.” *Energy and Buildings*. **33**. 711-718.
- Lechner, N., (1991). “Heating, Cooling, Lighting: Design Methods for Architects.” New York: John Wiley & Sons.
- Lembaga Pembinaan Industri Pembinaan Malaysia (1998). “Standard Industri Pembinaan.” Standard Perumahan Kebangsaan bagi Perumahan Kos Rendah Satu dan Dua Tingkat. CIS 1.
- Lenihan, J. dan Fletcher, W.W. (1978). “The Built Environment.” Glasgow and London: Blackie..

- Liang, L.C. (2000). "Thermal Comfort of Medium and Low Double Storey Linked Houses in Seri Kembangan, Selangor Darul Ehsan." Universiti Putra Malaysia: Tesis B.Sc. (Human Development) Project. Faculty of Human Ecology.
- Littler, J. dan Thomas, R., (1984). "Design with Energy: The Conservation and Use of Energy in Buildings." Cambridge: Cambridge University Press.
- Loke (1999). "Keselesaan Terma Pada Rumah Teres Tingkat Dua." Projek Sarjana Muda. Universiti Putra Malaysia. Bangi Selangor.
- Lotz, F.J. dan Richards, S.J. (1964). "The Influence of Ceiling Insulation on Indoor Thermal Conditions in Dwellings on Heavy-weight Construction Under South African Conditions."
- Madsen, H. dan Holst, J. (1995) "Estimation of continuous-time models for the heat dynamics of a building." *Energy and Buildings*. **22**. 67-79.
- Markus, T.A., dan Morris (1994). "Buildings, Climate and Energy." London: Pitman Publishing Limited.
- Mathews, E.H. dan Richards, P.G.(1989) "A Tool for Predicting Hourly Air Temperatures and Sensible Energy Loads in Buildings at Sketch Design Stage." *Energy and Buildings*. **14**. 61-80.
- Mathews, E.H., Shuttleworth, A.G., Rousseau, P.G., (1994) "Validation and Further Development of a Novel Thermal Analysis Method." *Buildings and Environment*. **29**. 207-215.
- Mathews, E.H., van Heerden, E., dan Arndt, D.C. (1999) "A Tool for Integrated HVAC, Building, Energy and Control Analysis. Part 1: Overview of QUICK control." *Buildings and Environment*. **34**. 429-449.
- Matrosov, Yu A. dan Butovsky, I.N. (1989). "U.S.S.R. Experiences in Thermal Design of Building Envelopes with Improved Thermal Properties." *Energy and Buildings*. **14**. 31-41.

- Matrosov, Yu A. dan Butovsky, I.N. (1992). "Concepts of the Development of Building Physics in the USSR. *Energy and Buildings*." **18**. 25-33.
- McIntyre, D.A. (1980). "Indoor Climate." London: Applied Science Series Ltd.
- McIntyre, D.A.(1981). "Design Requirements for a Comfortable Environment." dlm. Cena, K. dan Clark, J.A. (Ed.) "Bioengineering, Thermal Physiology and Comfort." Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company.
- Meffert, E.M. (1982). "Hygrothermal Comfort in Lamu Town (Kenya)." *Energy and Buildings*. **4**. 295-300.
- Mitalas, G.P. dan Stephenson, D.G. (1976). "Room Thermal Response Factors." *ASHRAE Transactions*. **73(2)**; III.2.1-III.2.10.
- Mohd. Yusoff Senawi (1992). "Software Development for Building Energy Analysis." Universiti Teknologi Malaysia. Johor Bahru. Malaysia: Tesis M.Sc.
- Mohd. Yusoff Senawi (1999). "Development of a Building Energy Analysis Package and Its Application to the Analysis of Cool Thermal Storage Energy Storage Syste" Universiti Teknologi Malaysia. Johor Bahru. Malaysia: Tesis Ph.D.
- Morrison, Ian Beausoleil (2001). "An Algorithm for Calculating Convection Coefficients for Internal Building Surfaces for the Case of Mixed Flow in Rooms. *Energy and Buildings* **33**. 351-361.
- Muncey, R.W.R. (1979). "Heat Transfer Calculations for Buildings." London: Applied Science Publishers Ltd.
- Munir, Rinaldi (2000). "Algoritma dan Pemrograman dalam Bahasa Pascal dan C." Buku 1. Bandung : CV. Informatika.

- Munir, Rinaldi dan Leoni Lydia (1998). "Algoritma dan Pemrograman." Buku 2. Bandung : CV. Informatika.
- Murakami, S., Kato, S. dan Kim, T (2001). "Indoor climate design based on CFD Coupled simulation of convection, radiation, and HVAC control for attaining a given PMV value." *Building and Environment*. **36**. 701-709.
- Nevins, R., Rohles, F., Springer, W. and Feyerherm.(1966). "Temperature-Humidity Chart for Thermal Comfort of Seated Persons." *ASHRAE Transactions*. **72**. 283-291.
- Nicol, J.F. (1993). "Thermal Comfort A Handbook for Field Studies Towards and An Adaptive Model." University of East London, UK.
- Olesen, B.W. (1982). *Technical Review no 2-1982: Thermal Comfort*, Bruel and Kjaer, Denmark.
- Page-Shipp (1982). "The State of The Art with Regard to Environmental Design of Housing in South Africa." *Energy and Buildings*. **4**. 161-172.
- Parker, D.S. Stephen, F. dan Barkaszi (1997) " Roof solar reflectance and cooling energy use: field research results from Florida." *Energy and Buildings*. **25**. 105-115.
- Pawelski, M.J. et al (1979). "Transfer Functions for Combined Walls and Pitched Roofs." *ASHRAE Transactions*. **85(2)**. 307-318.
- Ramdani, A., Candau, Y., Dauting, S., Delille, S., Rahni, N. dan Dalicieux, P. (1997) "How to improve building thermal simulation program by use of spectral analysis. " *Energy and Building*. **25**. 223-242.
- Roberts, C.C. dan Reinke, K. (1982). "Thermal Measurements of Building Envelope Components in the Field." *ASHRAE Transactions*. **3(6)**.

- Salleh, M.R. (1989). "Natural Ventilation in Terrace Housing of Malaysia: Effects of Air-well on Air Flow and Air Velocity." University of Queensland: Tesis M. Arch.
- Salabury, T., dan Diamond, R. (2000) " Performance Validation and Energy Analysis of HVAC System Using Simulation." *Energy and Buildings*. **32**. 5-17.
- Satelli, A., Chan, K., and Scott, E.M. (2002). "Sensitivity Analysis." John Wiley, Canada.
- Shaviv, E., Yezioro, A., Capeluto, I.G., Peleg, U.J. dan Kalay, Y.E. (1996) " Simulation and knowledge-based computer-aided architectural design (CAAD) system for passive and low energy architecture." *Energy and Buildings*. **23**. 257-269.
- Shaw, A. (Ed.) (1989). "Energy Design for Architects." The Fairmont Press, Inc.
- Snyder, M.K. (1986). "Heat-Transmission Coefficients for Metal Building Systems." *ASHRAE Transactions* **12.4**.
- Soegijanto, R.M. (1981). "Pengendalian Lingkungan Termis dan Penerangan Alami Siang Hari di dlm. Rumah Sederhana Type Perumnas di Daerah Jakarta dan Bandung." Fakultas Pasca Sarjana Institut Teknologi Bandung. Indonesia: Desertasi Ph.D.
- Soegijanto, R.M. (1995). "Thermal Performance of a Low Cost House in Warm Humid Climates." dlm. Wijesundera, N.E. (Ed.) (June 1995). "Built Environment: Trends and Challenges." Vol.1: Engineering Application. Proceeding of the Asia Pacific Conference on the Built environment." Singapore: Singapore Association of ASHRAE Members, ASHRAE Malaysia Chapter and Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment Singapore.

- Sohar, E. (1982). "Men, Microclimate and Society, *Energy and Buildings*." **4**. 149-154.
- Stein, R.G. (1997). "Architecture and Energy." New York: Anchor Press.
- Straaten, Van, J.F., Roux, A.J.A. dan Richards, S.J. (1957). "The Effect of Attic Ventilation on the Indoor Thermal and Ventilation and Conditions in Dwellings of Conventional Construction." dlm. van Straaten, J.F. (Ed.) (1967). "Thermal Performance of Buildings." Elsevier Publishing Company.
- Straaten, J.F. (1964). "Roof Insulation." dlm. "Thermal Performance of Buildings." Elsevier Publishing Company.
- Straaten, J.F. (Ed.) (1967). "Thermal Performance of Buildings." Elsevier Publishing Company.
- Surjamanto, W. (1996). "Pengaruh Ventilasi Atap Terhadap Kenyamanan Termal di dlm. Bangunan. Eksperimental Rumah Tinggal Tipe 45 di Bandung." Jurusan Teknik Arsitektur Institut Teknologi Bandung. Indonesia: Tesis M.Sc.
- Suryoatmono, Bambang (1997). "Bahasa Fortran: Dari Fortran IV hingga Fortran Powerstation." Bandung: PT. Eresco.
- Sutton, G.E. (1950). "Roof Spray for Reduction in Transmitted Solar Radiation. Heat. Pip. Air Condit. dlm. Straaten "Thermal Performance of Buildings."
- Szokolay, S.V. (1980). "Environmental Science Handbook. For Architects and Builders." Lancaster England: The Construction Press Ltd.
- Szokolay, S.V. dan Ritson, P.R. (1982). "Development of a Thermal Design Tool." dlm. Yusoff, M. *Architectural Science Review*. **25**. 89-105.
- Szokolay, S.V. (1982). "Climatic Data and Its Use in Buildings." Australia: RAI A Education Division.

- Szokolay, S.V. (1987). "Thermal Design of Buildings." Canberra: RAI Education Division.
- Tanabe, S., Kimura, K. dan Hara, T. (1987). "Thermal Comfort Requirements during the Summer Season in Japan." *ASHRAE Transactions*. **93(I)**. 564-577.
- Tiwari, P. (2001) "Energy efficiency and building construction in India." *Building and Environment*. **36**.1127-1135.
- Tulucca, A. (1997). "Energy Efficient Design and Construction For Commercial Buildings." New York: Mc Graw Hill.
- United Nations (1971). "Design of Low-cost Housing and Community Facilities." dlm. "Climate and House Design." New York: Department of Economic and Social Affairs.
- Ural, O. (Ed.) (1980). "Energy Resources and Conservation Related to Built Environment." New York: Pergamon Press.
- Van Straaten, J.F. (1967). "Thermal Performance of Buildings." Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Wallenten, P. (2001) "Convective heat transfer coefficient in a full-scale room with and without furniture." *Building and Environment*. **36**.743-751.
- Watson, D. (1983). "Climatic Design: Energy-efficient building principles and practices." New York: McGraw-Hill Book Company.
- Weller, J.W. and Youle, A. (1981). "Thermal Energy Conservation on Building and Services Design." London: Applied Science Publishers Ltd.
- Wright, D. (1978). "Natural Solar Architecture A Passive Primer. New York: Van Nostrand Reinhold Co.

Yilmaz, Z. (19). “Evaluation of Built Environment From the Thermal Comfort Viewpoint.” *ASHRAE Transactions*. 549-563.

Zaheer-Uddin, M., et al. (1989). “Inter Model Comparisons between Three PC Program and BLAST.” dlm. Mohd. Yusoff bin Senawi (1992). “Software Development for Building Energy Analysis.” Universiti Teknologi Malaysia. Johor Bahru. Malaysia.: Unpublished M.Sc. Tesis.

Zamri, H (1973). “Simulasi Digital Sistim Pengkondisian Udara.” Tugas Akhir Sarjana Fisika Teknik.” Departemen Fisika Teknik. Institut Teknologi Bandung.

Zubair, S.M., Bahel, V., Abdel-nabi, D.Y. dan Abdelrahman, M.A. “A Case Study for Improving Performance and Life Expectancy of Air-Conditioning Systems at a University Campus.”

Zulkifli bin Hanafi (1991). “Environmental Design in Hot Humid Climates with Special Reference to Malaysia.” University of Wales College of Cardiff: Tesis Ph.D.