

SIMULASI KENYAMANAN TERMAL UNTUK LINGKUNGAN BERIKLIM TROPIS LEMBAB

Sangkertadi

Staf pengajar di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado

ABSTRAK

Sejumlah pustaka mengenai arsitektur membahas pentingnya ventilasi untuk meningkatkan kenyamanan termal di iklim tropis lembab. Sedangkan kenyataannya terdapat tiga kelompok faktor yang mempengaruhi tinggi rendahnya angka kenyamanan termal, yaitu faktor klimatis udara lingkungan (iklim mikro udara), faktor pakaian, dan faktor aktifitas. Fakta bahwa khususnya di lingkungan beriklim tropis lembab, dalam keadaan suhu udara yang cukup tinggi, keadaan nyaman secara termis dirasakan oleh seseorang dengan adanya hembusan angin sepoi-sepoi yang pada akhirnya mempengaruhi evaporasi keringat pada permukaan kulit. Melalui penelitian ini dianalisa adanya sifat multi-parameter yang mempengaruhi indeks rasa nyaman untuk kondisi iklim tropis lembab, yaitu pengaruh jenis pakaian, jenis aktifitas, suhu dan kelembaban udara serta kecepatan angin. Metoda yang digunakan adalah simulasi numerik dengan menerapkan formulasi dan persamaan empiris yang ditujukan untuk kondisi iklim tropis lembab. Hasil simulasi selanjutnya divalidasikan terhadap sejumlah hasil observasi lapangan.

Kata kunci : Indeks kenyamanan termal, Iklim tropis lembab, Simulasi, Kecepatan udara

ABSTRACT

The most important factors which influence the condition of thermal comfort are : clothing, climate of air-environment, and activity. In hot and humid climate, feel of comfort are associated with sweating. Air speed can cool building occupants by increasing convective and evaporative heat losses. This paper contain the intention to explore the techniques for evaluation of air-climate, clothing type, and activity level that influence unpleasentness and thermal discomfort for human being in hot and humid environment. The method used is numerical simulation with some of empirical correlations to estimate the index of thermal comfort. The results of simulations to be then compared with other field observations.

Keywords : Themal comfort index, Hot and humid climate, Simulation, Air speed.

I. PENDAHULUAN

Di daerah beriklim tropis dan lembab, temperatur udara dan terutama kelembaban udaranya yang relatif tinggi merupakan penyebab utama situasi tidak nyaman secara termal bagi manusia. Namun begitu masyarakat yang telah lama hidup didaerah beriklim tropis dan lembab ini, telah menunjukkan keberhasilannya dalam menghadapi tantangan iklim tersebut dari waktu ke waktu, yakni dengan menerapkan suatu tatanan dan rancangan hunian yang mampu beradaptasi dengan lingkungan klimatis sekitarnya. Rancangan tersebut dikenal sebagai arsitektur tradisional. Bukaan-

bukaan lebar yang ditampilkan pada rumah-rumah tradisional memainkan peran yang sangat penting dalam penerapan sistim penghawaan alamiah menuju tercapainya tingkat kenyamanan penghuninya. Yakni membantu mekanisme penghawaan secara alamiah didalam ruang, dengan memungkinkan pemenuhan debit ventilasi udara baik untuk kebutuhan pergantian udara segar maupun untuk membantu proses pendinginan struktur bangunan secara konvektif. Selain itu, adanya mekanisme pergerakan udara segar yang langsung menyentuh kulit dapat membantu percepatan proses evaporasi keringat.

Tingkat kenyamanan termal suatu individu, selain dipengaruhi oleh faktor klimatis tersebut, juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yaitu: jenis pakaian yang dikenakan, tingkat aktifitas, dimensi tubuh, bahkan situasi psikologis pada saat tertentu.

Dibandingkan dengan daerah beriklim dingin dan sub tropis, kenyamanan termal didaerah beriklim tropis dan lembab memiliki parameter yang berbeda, yakni adanya faktor keringat. Sehingga tingkat kebasahan kulit karena keringat menjadi salah satu tolok ukur dalam penentuan tingkat kenyamanan termal.

Pentingnya pemahaman mengenai metoda untuk menentukan kenyamanan termal ini, sangat dibutuhkan oleh para arsitek sebagai masukan dalam suatu proses perancangan yang menjadi obyeknya, atau sebaliknya menjadi suatu alat untuk mengevaluasi suatu hasil rancangan.

Banyak dan beragamnya faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kenyamanan termal, dapat menyulitkan para arsitek didalam menentukan faktor-faktor manakah yang menjadi prioritas dan berhubungan secara langsung dengan komponen rancangan arsitektur. Kemudian, bila dibandingkan dengan apa yang terjadi didaerah beriklim dingin/subtropis, dari pemahaman-pemahaman mengenai tingkat kenyamanan termal, dapat ditelusuri atau ditelaah lebih mendalam tentang perbedaan yang mendasar mengenai disain arsitekturnya. Sementara itu disisi lain, didalam Pedoman Perencanaan Bangunan Gedung (Dept. Pekerjaan Umum RI, tahun 1987, dahulu dikenal sebagai Peraturan Bangunan Nasional), belum diatur secara optimal mengenai persyaratan bangunan gedung yang dianggap memenuhi kriteria-kriteria nyaman secara termal.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran secara mendetail mengenai faktor-faktor yang berperan terhadap tingkat kenyamanan termal didaerah beriklim tropis lembab. Selanjutnya, dari gambaran tersebut dapat dijadikan masukan berharga bagi arsitek praktisi, terutama dalam perancangan bangunan didaerah beriklim tropis lembab yang memanfaatkan potensi iklim sekitar dan alamiah. Penelitian akan memberikan kontribusi berharga pada masyarakat tentang :

- cara mengestimasi tingkat kenyamanan termal didalam rumah tropis

- pemilihan disain arsitektur rumah tinggal yang optimal, dengan faktor prioritas tingkat kenyamanan termal.

II. METODOLOGI

Dalam kegiatan penelitian ini, metodologinya meliputi :

- Pembuatan program untuk mengestimasi tingkat kenyamanan termal untuk daerah beriklim tropis lembab
- Penerapan program tersebut untuk dipakai pada proses simulasi secara numerik
- Perbandingan hasil simulasi dengan hasil penelitian atau model lainnya.

Adapun program tersebut dibuat untuk diintegrasikan pada program TRNSYS, yaitu sebuah program untuk kebutuhan simulasi termal pada bangunan/sistim. TRNSYS dikeluarkan oleh University of Wisconsin [15].

Formulasi yang dipakai mencakup kebutuhan untuk mengestimasi elemen-elemen yang berpengaruh pada tingkat kenyamanan termal manusia, yakni mengenai :

- Faktor morfologi (perhitungan luas permukaan kulit / formulasi DuBois)
- Metabolisma termal dan tingkat aktivitas
- Pertukaran-pertukaran kalor antara tubuh manusia (melalui kulit dan pernafasan) dan lingkungannya (pertukaran kalor secara radiatif, konvektif, respiratif, difusif)
- Suhu permukaan kulit manusia
- Suhu permukaan pakaian
- Keringat yang meliputi volume (debit) keringat dan luas kulit yang basah karena keringat
- Indeks penentuan skala/tingkat kenyamanan termal (skala PMV dan skala DISC)

Khusus mengenai indeks/skala kenyamanan termal, diterapkan dua model, yaitu model PMV (predicted mean vote) dan DISC (discomfort scale). Model PMV dari Fanger [10] telah mendapat rekomendasi dari ISO dalam bentuk ISO 7730 dan ditetapkan sebagai standar untuk mengestimasi tingkat kenyamanan termal untuk daerah beriklim sedang. Indeks DISC mendapat rekomendasi dari banyak peneliti, bahwa indeks tersebut sesuai untuk diterapkan pada kondisi dimana manusia sudah mengeluarkan keringat. Definisi indeks PMV dan indeks DISC ditunjukkan pada Tabel.1. Nampak pada tabel tersebut, bahwa dengan menggunakan indeks DISC maka skala terendah adalah 0 atau keadaan nyaman; keadaan/rasa tidak nyaman karena dingin tidak

dibahas dalam indeks DISC. Persamaan tentang DISC diusulkan, dikembangkan serta disempurnakan oleh beberapa peneliti yaitu Berglund [2], Cunningham [2], Hoeppe [2] dan Sangkertadi [13].

Dalam simulasi ini sebagai data input dan parameter adalah :

- Ukuran tubuh manusia (berat dan tinggi)
- Angka energi metabolis menurut aktifitasnya
- Angka koefisien jenis pakaian
- Suhu udara lingkungan (konvektif dan radiatif)
- Angka koefisien untuk pertukaran kalor (konvektif dan radiatif)

Sedangkan sebagai keluaran adalah :

- Presentasi luas kulit yang basah karena keringat
- Volume (debit) keringat
- Angka indeks kenyamanan

Tabel.2. Definisi indeks PMV dan indeks DISC

Indeks PMV		Indeks DISC	
Rasa	Skala	Rasa	Skala
Sangat panas	+ 3	Sangat tidak nyaman	+ 3
Panas	+ 2	Tidak nyaman	+ 2
Agak Panas	+1	Agak tidak nyaman	+ 1
Netral	0	Nyaman	0
Agak dingin	-1		
Dingin	-2		
Sangat dingin	-3		

Tabel.1. Daftar persamaan yang dipakai dalam simulasi

Sumber : Sangkertadi [13], Berglund [2], Fanger [10]

No	variabel atau parameter	Persamaan	Notasi
1	Faktor morfologi tubuh	$Adu = 0.203 p^{0.425} h^{0.725}$	p = berat (kg) h = tinggi (m) Adu = luas kulit (m ²)
2	Faktor pakaian	$Tcl = (hcl Ts + hr Tr + hc Ta) / (hcl + hc + hr)$ $hc = 12.1 \sqrt{v}$	Tcl = suhu pakaian (°C) v = kec. Udara (m/s) hr = ceff. Radiatif hc= coeff. Convective Tr= suhu radiative Ta= suhu udara (conventive)
3	Suhu permukaan kulit	$Ts (act = 1 met) = 34.7 - 0.249 (30 - Top)$ $Top = (hc Ta + hr Tr) / (hc + hr)$	Ts = Suhu permukaan kulit (C)
4	Pertukaran kalor dari respirasi	$Sens = 0.0052.M.0.28 (Texp - Ta)$ $Lat = 0.0052.M. 667(hexp - hs)$ $Ere = Sens + Lat$	M = Metabolisme termal (watt) Texp =Suhu udara dihembus hexp = Kelembaban mutlak udara dihembus (gr/gr)
5	Pertukaran kalor dari evaporasi	$Ed = 0.00305 Adu (Pvs - Pva)$	Pvs =tekanan jenuh pada suhu kulit Pva = tekanan jenuh pada suhu udara
6	Pertukaran kalor radiatif	$R = hr (Tcl - Tr) Adu Fcl$	Fcl = koefisien faktor pakaian
7	Pertukaran kalor konvektif	$C = hc (Tcl - Ta) Adu Fcl$	
8	Kulit basah karena keringat	$w = Evap / Evap_{(max)}$ $Evap = M - R - Ere - Ed$ $Evap_{(max)} = Hev Adu (Pvs - Pva)$ $Hev = (0.0167 hcl) / (1 + 0.92 hcl Rcl)$	Evap = Kalor evaporasi Evap(max) = Kalor evaporasi maksimum w = prosentase kulit basah karena keringat.
9	Debit keringat	$Sr = (Evap) / (E \cdot 0.68)$ $E = 1 - 0.42 e^{-6(1-w)}$	
10	Indeks PMV	$PMV = (0.352 e^{-0.042(M/Adu)} + 0.032) (B/Adu)$ $B = M - R - C - Ed - Ere$	PMV=Predicted Mean Vote
11	Indeks DISC	$DISC (0.5 clo, 1 met) = 3.9338 w + 0.0158 Sr - 0.3348$ $DISC (0.8 clo, 1 met) = 4.13 w + 0.013$	DISC=Discomfort Scale

Dalam simulasi ini akan dilihat besarnya tingkat pengaruh dari parameter-parameter berikut ini :

- Suhu udara (divariasikan pada 23°C s/d 33°C)
- Kelembaban udara (divariasikan pada angka-angka : 50%, 70%, 90%)
- Kecepatan angin yang menyentuh kulit (divariasikan pada angka-angka: 0.1 m/s s/d 1.3 m/s)
- Jenis pakaian yang dikenakan (tipe pakaian tropis kerja=0.6 clo, dan tipe pakaian bisnis lengkap=1.0 clo)

Sedangkan sebagai parameter konstan adalah

- ukuran tubuh manusia, yang dianggap manusia dewasa dengan luas kulit tubuhnya atau $A_{du} = 1.7 \text{ m}^2$
- jenis aktifitas manusia yang dianggap melakukan kegiatan ringan (sekitar 1.1 met)
- suhu radiatif dianggap sama dengan suhu udara.

Berdasarkan rencana dari variabel input dan parameter tersebut diatas, maka pada prinsipnya terdapat dua kelompok simulasi, yaitu :

- simulasi tipe - A, untuk individu yang mengenakan jenis pakaian = 0.6 clo (tipe pakaian tropis untuk bekerja : baju lengan pendek, celana panjang, sepatu)
- simulasi tipe - B untuk individu yang mengenakan jenis pakaian = 1.0 clo (tipe pakaian lengkap untuk bisnis/bekerja, pakai dasi, baju lengan panjang, jas, sepatu)

Angka indeks kenyamanan termal yang digunakan adalah skala DISC untuk indeks ≥ 0 dan skala PMV untuk indeks < 0

Hasil dari simulasi ini akan dibandingkan terhadap hasil lainnya yang didapat dari penelitian dilapangan (field observation) untuk dianalisa lebih lanjut apabila ternyata terdapat perbedaan-perbedaan yang cukup signifikan.

III. HASIL & DISKUSI

Hasil dari simulasi ditunjukkan pada melalui tabel 3. Berdasarkan hasil-hasil tersebut, nampak bahwa pada suhu 23° C, memberikan rasa nyaman bagi individu yang mengenakan pakaian bisnis lengkap (=1.0 clo).

Sedangkan bagi individu yang mengenakan pakaian tropis/tipis (=0.6 clo), pada suhu tersebut merasakan kondisi agak dingin apabila mendapat hembusan angin yang cukup terasa ($v > 0.4 \text{ m/s}$). Pada suhu 25°C, keadaannya praktis tidak berbeda jauh dengan keadaan

pada suhu 23° C, namun khusus bagi individu yang mengenakan pakaian bertipe 1.0 clo, pada kelembaban udara 90%, mulai merasakan keadaan agak panas (indeks mencapai lebih dari 0.5).

Pada suhu 27° C, bagi individu yang mengenakan pakaian kerja tipe tropis/tipis (=0.6 clo) merasakan kondisi nyaman secara termis, sedangkan bagi individu yang mengenakan pakaian bisnis lengkap (=1.0 clo) merasakan kondisi "agak panas" atau agak tidak nyaman, dengan indeks sekitar angka 1.

Pada suhu udara 29° C, dapat dikatakan bahwa kondisi agak tidak nyaman dirasakan oleh kedua tipe individu (yang mengenakan pakaian bertipe 0.6 clo dan 1.0 clo). Namun khususnya yang mengenakan pakaian tipe 0.6 clo, tetap dapat merasakan kondisi netral/nyaman apabila mendapatkan hembusan angin yang cukup terasa bagi tubuhnya (kecepatan angin $> 0.6 \text{ m/s}$).

Pada suhu 31° C, rasa "tidak nyaman" atau rasa "panas" telah diterima oleh individu yang berpakaian tipe 1.0 clo pada kelembaban udara 90%. Namun bagi yang berpakaian tipe 0.6 clo, merasakan hal yang sama apabila tidak mendapat hembusan angin yang cukup ($v < 0.4 \text{ m/s}$). Pada suhu tersebut situasi yang paling rendah adalah pada indeks 1.0 atau identik dengan rasa "agak panas".

Pada suhu 33°C, para individu merasakan kondisi mulai dari "agak panas" hingga "panas". Pada suhu udara tersebut, praktis kecepatan angin tidak banyak mempengaruhi perubahan rasa kenyamanan. Besarnya pengaruh mengenai kelembaban udara dapat diketahui pada saat suhu udara relatif tinggi, yaitu lebih besar dari 29° C, terutama perbedaan antara angka kelembaban udara sekitar 50% dan 90%.

Sedangkan besarnya pengaruh mengenai kecepatan angin, dapat dilihat pada saat suhu udara relatif rendah dan dibawah 30°C, namun hanya berlaku bagi individu yang mengenakan pakaian kerja tipe tropis (=0.6 clo). Bagi yang mengenakan pakaian cukup lengkap (=1.0 clo) angka kecepatan angin tidak berpengaruh pada indeks kenyamanan termis. Hal ini rasional karena kecepatan angin berpengaruh langsung pada proses evaporasi keringat pada kulit manusia yang tidak terhalangi oleh tipe pakaian.

Tabel.3. Indeks kenyamanan termal menurut hasil simulasi (aktivitas = 1.1 met, Adu=1.7 m²)

Ket : -1=agak dingin, 0=nyaman/netral, 1=agak panas, 2=panas, 3=sangat panas

Suhu udara & Kec. Angin		Simulasi-A (pakaian=0.6 clo)			Simulasi-B (pakaian=1.0 clo)		
Suhu udara (celcius)	Kec.Angin (m/s)	HR=50%	HR=70%	HR=90%	HR=50%	HR=70%	HR=90%
23	0.1	+0.0	+0.0	-0.1	+0.4	+0.4	+0.5
	0.2	-0.2	-0.3	-0.3	+0.3	+0.4	+0.4
	0.4	-0.5	-0.6	-0.7	+0.3	+0.3	+0.3
	0.7	-0.8	-0.8	-0.9	+0.2	+0.2	+0.2
	1.0	-0.9	-1.0	-1.1	+0.2	+0.2	+0.1
	1.3	-1.0	-1.2	-1.3	+0.1	+0.1	+0.1
25	0.1	+0.1	+0.1	+0.0	+0.6	+0.6	+0.8
	0.2	+0.1	+0.0	-0.1	+0.5	+0.6	+0.7
	0.4	+0.0	-0.1	-0.2	+0.5	+0.5	+0.6
	0.7	-0.2	-0.3	-0.4	+0.4	+0.4	+0.5
	1.0	-0.3	-0.4	-0.5	+0.4	+0.4	+0.4
	1.3	-0.4	-0.5	-0.7	+0.3	+0.4	+0.4
27	0.1	+0.5	+0.5	+0.5	+0.7	+0.9	+1.1
	0.2	+0.3	+0.3	+0.3	+0.7	+0.8	+1.0
	0.4	+0.2	+0.1	+0.1	+0.6	+0.8	+0.9
	0.7	+0.1	+0.0	+0.0	+0.6	+0.7	+0.8
	1.0	+0	+0.0	-0.1	+0.6	+0.7	+0.8
	1.3	+0	-0.1	-0.1	+0.6	+0.6	+0.7
29	0.1	+0.9	+1.0	+1.1	+0.9	+1.1	+1.5
	0.2	+0.8	+0.8	+0.9	+0.9	+1.1	+1.4
	0.4	+0.7	+0.7	+0.7	+0.9	+1.0	+1.3
	0.7	+0.5	+0.5	+0.5	+0.8	+1.0	+1.3
	1.0	+0.4	+0.4	+0.4	+0.8	+1.0	+1.2
	1.3	+0.4	+0.3	+0.3	+0.8	+0.9	+1.2
31	0.1	+1.3	+1.5	+1.7	+1.1	+1.5	+2.0
	0.2	+1.3	+1.4	+1.6	+1.1	+1.4	+2.0
	0.4	+1.2	+1.2	+1.4	+1.1	+1.4	+1.9
	0.7	+1.1	+1.1	+1.3	+1.1	+1.3	+1.8
	1.0	+1.0	+1.1	+1.2	+1.0	+1.3	+1.8
	1.3	+1.0	+1.0	+1.1	+1.0	+1.3	+1.8
33	0.1	+1.8	+2.0	+2.5	+1.4	+1.9	+2.9
	0.2	+1.8	+2.0	+2.4	+1.4	+1.8	+2.8
	0.4	+1.7	+1.9	+2.3	+1.3	+1.8	+2.8
	0.7	+1.7	+1.8	+2.2	+1.3	+1.8	+2.7
	1.0	+1.6	+1.8	+2.1	+1.3	+1.8	+2.7
	1.3	+1.6	+1.7	+2.0	+1.3	+1.8	+2.7

Tabel.4. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimentasi tentang rasa kenyamanan bagi seseorang yang mengenakan pakaian tipe 0.5 clo dan melakukan aktifitas sekitar 1.1 met, Adu=1.7 m²

Kondisi lingkungan			Indeks kenyamanan termal	
Suhu udara (C)	Kelembaban udara (%)	Kecepatan udara (m/s)	Hasil eksperimentasi	Hasil simulasi
25.6	50	0.25	+0.2	+0.3
25.6	70	0.25	+0.3	+0.3
25.6	90	0.25	+0.8	+0.6
28.9	50	0.25	+1.3	+1.0
28.9	70	0.25	+1.4	+1.1
28.9	90	0.25	+1.9	+1.3
32.2	50	0.25	+1.7	+1.7
32.2	70	0.25	+1.8	+2.1
32.3	90	0.25	+2.8	+2.4

Melalui Tabel 4. ditunjukkan pula hasil experimentasi oleh Deval [8] yang dilakukan disuatu "climatic room" yang dijadikan pembandingan pada hasil estimasi melalui simulasi ini.

Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4. tersebut, nampak bahwa terdapat kesesuaian hasil antara simulasi dan eksperimentasi.

IV. KESIMPULAN

Melalui studi ini telah dicoba untuk diketahui tingkat pengaruh faktor-faktor yang menjadi peubah utama indeks kenyamanan termal pada individu yang berada di lingkungan beriklim tropis lembab. Berdasarkan hasil-hasil estimasi, dapat disimpulkan bahwa untuk menyatakan suatu lingkungan iklim mikro adalah nyaman atau tidak, tidak dapat semata-mata hanya didasarkan pada satu atau dua parameter iklim saja, tetapi jenis aktifitas dan jenis pakaian yang dikenakan juga harus dipertimbangkan. Penggunaan teknik simulasi yang memanfaatkan sejumlah persamaan empiris, ternyata cukup memuaskan karena menunjukkan hasil yang mendekati kenyataan, sebagaimana dibandingkan terhadap hasil observasi lapangan. Namun yang perlu mendapat perhatian, bahwa dengan teknik simulasi numerik ini, maka operator (pelaku simulasi) dituntut harus memahami dengan baik tentang batasan-batasan persamaan (persamaan fisis dan persamaan matematis) yang dipakai serta mengetahui dengan baik pendekatan teoretisnya, terutama menyangkut konteks perpindahan kalor antara manusia dan lingkungan klimatis sekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. **ASHRAE**, *Handbook Fundamentals 1985*, New York : American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 1985.
2. **BERGLUND L.G, CUNNINGHAM D J**, *Parameters of Human Discomfort in Warm Environment*, ASHRAE Transaction, vol 92 part 2B, 1986.
3. **BUSCH J F**, *A Tale of two populations : thermal comfort in air conditioned and naturally ventilated offices in Thailand*, Energy and Buildings 1992 no 18.
4. **DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM**, *Pedoman Mendirikan Bangunan Gedung*, Bandung : Yayasan LPMB, 1987.
5. **DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM**, *Tata Cara Perencanaan Teknis Konservasi Energi Pada Bangunan Gedung*, Bandung : Yayasan LPMB, 1993
6. **DEPARTEMEN PERTAMBANGAN & ENERGI**, *Rencana Induk Konservasi Energi Nasional*, Jakarta : Bakoren, 1995.
7. **DE WAAL, H B**, *New Recommendations for Building in Tropical Climates*, Building and Environment Vol 28, no 3, 1993.
8. **DEVAL J C**, *Etude Theorique et experimentale du confort thermique*, These Docteur Ingenieur, ECAM, Paris 1985.
9. **DREYFUS. J**, *Le confort dans l'habitat en pays tropical*, Paris : Eyrolles, 1962
10. **FANGER**. *Thermal comfort*, New York : Mac Graw Hill, 1970
11. **KUKREJA**, *Tropical Architecture*, New Delhi : Tata Mac Graw Hill, 1978.
12. **MANGUNWIJAYA J B**, *Pasal Pasal Penghantar Fisika Bangunan*, Jakarta : Gramedia, 1980.
13. **SANGKERTADI**, *Contribution al 'etude du comportement thermoaeraulique des batiments en climat tropical humide. Prise en compte de la ventilation naturelle dans l'evaluation du confort*. These Doctorat, INSA de Lyon, 1994.
14. **SANGKERTADI**, *Kenyamanan Termal didalam Rumah Tropis*, Laporan Penelitian DPP, Fak Teknik Unsrat, 1995.
15. -----, *TRNSYS, Manual version 12 1991*, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin