

MEMPREDIKSI POLA PERUBAHAN TEMPERATUR DALAM RUMAH TROPIS LEMBAB DENGAN MENGGUNAKAN MODEL ANALOGI ELEKTRIK SATU DIMENSI

Sangkertadi

*Staf Pengajar dan Kepala Lab. Sains & Teknologi Bangunan di Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.
e-mail: t_sangkertadi@yahoo.com*

ABSTRAK

Studi ini diarahkan pada validasi dan penggunaan suatu model perhitungan perpindahan panas sederhana satu dimensi untuk memprediksi perubahan suhu udara dalam ruang rumah beriklim tropis lembab. Model tersebut adalah model analogi elektrik yang dapat dipakai untuk membuat simulasi perpindahan panas pada kondisi tak-stedi. Pada penerapan di kasus pertama, hasil perhitungan dengan model sederhana tersebut dibandingkan terhadap perhitungan dengan model lainnya yaitu model TFM (Transfer Function Method) dari ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers). Pada penerapan di kasus kedua, dilakukan perbandingan terhadap hasil pengukuran pada kasus rumah tinggal 7 zona. Hasilnya menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan dengan model sederhana tersebut dibandingkan terhadap hasil perhitungan dengan model TFM maupun terhadap hasil pengukuran di lapangan.

Kata kunci: Simulasi numerikal, bangunan tropis.

ABSTRACT

This study concern in the application of a simplified heat transfer model for simulation of thermal behaviour of tropical buildings. The model is to be integrated to a transient simulation program TRNSYS. The objective of this study is to predict the variable of indoor air temperature due to outdoors environmental climatic. The first case is about the comparison of the model with other model from ASHRAE (i.e. Transfer Function Method). The second case is the application of the model for a thermal simulation of a 7-zones typical tropical house. The simulation results (indoor air temperature and surfaces temperature) are to be then compared to the results from field measurement. The comparison shows that there is similarity between those two approaches.

Keywords : Numerical simulation, Simplified heat transfer model, Tropical buildings.

PENDAHULUAN

Model perpindahan panas dimensi satu yang menerapkan metoda analogi elektrik meskipun termasuk dalam kategori tipe "model sederhana" (simplified model), namun layak digunakan untuk kasus-kasus perhitungan perpindahan panas tak stedi yang tidak membutuhkan tingkat ketelitian yang sangat tinggi. Pada kasus perpindahan panas dalam ruang-ruang hunian (bangunan) dalam keadaan normal memang tidak dituntut suatu ketelitian perhitungan perubahan temperatur sampai mencapai angka desimal, karena kenyataannya bagi manusia (sebagai obyek / sebagai pemakai ruang) tidaklah dapat membedakan perbedaan suhu ruang sekitar kurang dari 1 (satu) derajat celcius. Berdasarkan

sejumlah hasil penelitian tentang kenyamanan termal manusia, dapat disimpulkan oleh Sangkertadi (1994, 1995) bahwa ternyata perbedaan suhu ruang baru mulai dirasakan oleh manusia apabila terdapat kenaikan atau penurunan sekitar 1.5 °C atau 2 °C.

Model perpindahan panas dalam studi ini (disusun oleh Sangkertadi (1994)) dilengkapi pula dengan modul perhitungan debit ventilasi multi zone dan modul untuk mengestimasi angka kenyamanan termal. Dalam penggunaannya model tersebut diintegrasikan (sebagai subroutine) pada program TRNSYS ver.12. yakni sebuah program modular untuk membuat simulasi perpindahan panas secara transien. Karena itu format penulisannya juga menggunakan Fortran77, sebagaimana pada keseluruhan modul subroutine

lainnya pada program TRNSYS. Adapun program orisinal dari TRNSYS dibuat oleh Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin (1991).

Sebagaimana diketahui bahwa udara siang hari di daerah beriklim tropis lembab menyebabkan kondisi tidak nyaman di ruangan-ruangan rumah tinggal karena tingginya temperatur dan disertai pula dengan kelembaban udara yang juga tinggi ditambah lagi dengan polusi udara (debu, asap, dll). Solusi ekonomis-arsitektural yang sering ditawarkan adalah berbasis pada dua prinsip utama, yaitu: perlindungan bangunan terhadap radiasi panas matahari dan mengevaluasi udara panas dari dalam ruang. Sehingga secara teknis solusi tersebut harus dapat memberi naungan yang cukup (terhadap sinar matahari langsung) pada selubung bangunannya, serta memberi peluang terhadap cukupnya aliran udara ventilasi dari suatu ruang luar tertentu (yang dianggap bersih, segar, tidak panas) agar tercapai penurunan suhu udara secara konvektif serta terasannya kenyamanan (sesaat) melalui evaporasi keringat di permukaan kulit. Namun untuk menentukan apakah solusi tersebut dapat mencapai sasarnya, tetap dibutuhkan suatu pendekatan kuantitatif, melalui perhitungan yang cukup teliti atau melalui suatu eksperimentasi laboratorium. Kenyataannya sampai saat ini sudah tersedia dalam jumlah yang cukup tentang adanya pustaka yang menampilkan teknik solusi tersebut namun hanya mengandalkan pendekatan secara skematis / grafis, diantaranya adalah yang ditulis oleh Lippsmeier (1994), Mangunwijaya (1980), Kukreja (1978), Givoni (1991), dll. Sedangkan pendekatan secara kuantitatif relatif masih sangat jarang dipublikasikan secara luas, meskipun sudah sejak lama sejumlah laboratorium terkemuka di dunia mengadakan studi tentang permasalahan panas pada bangunan tropis.

Studi ini dimaksudkan sebagai salah satu cara pendekatan kuantitatif yakni dengan menggunakan teknik simulasi numerik dalam rangka mengevaluasi pola perubahan suhu ruang yang terjadi didalam bangunan tipe tropis lembab. Melalui penggunaan teknik simulasi seperti ini maka akan dapat dengan mudah diketahui misalnya tentang peranan sejumlah parameter atau variabel tertentu (elemen bangunan atau lingkungan) yang mempengaruhi pola perubahan temperatur udara dalam ruang. Pada bagian pertama dalam studi ini diadakan evaluasi tentang kualitas model analogi sederhana melalui perbandingan terhadap model

lain yang sudah lazim dipakai oleh ASHRAE, sebagaimana diuraikan dalam ASHRAE Handbook of Fundamental (1985), yakni model TFM (Transfer Function Method). Selanjutnya diadakan simulasi pada kasus rumah tipe tropis lembab 7-zone, hasilnya kemudian dibandingkan terhadap hasil pengukuran pada rumah yang sama (pengukuran pernah dilakukan oleh Mas Santosa :1986).

DESKRIPSI MODEL

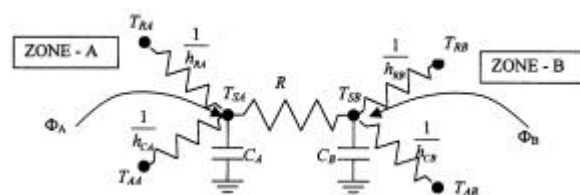
Model yang diterapkan merupakan kombinasi antara model perpindahan panas dan model perpindahan udara (ventilasi). Secara keseluruhan dalam struktur model tersebut terdiri dari modul-modul perhitungan perpindahan panas dan ventilasi yang meliputi :

- Modul perhitungan perpindahan panas melalui dinding masif (opaque)
- Modul perhitungan perpindahan panas melalui dinding transparan
- Modul perhitungan perpindahan panas melalui lantai yang menyentuh tanah
- Modul perhitungan panas radiasi matahari dan geometri pembayangan
- Modul perhitungan radiasi gelombang panjang
- Modul perhitungan debit ventilasi
- Modul perhitungan kenyamanan termal
- Modul perhitungan panas global (resultante) dalam satu ruang

Modul Perhitungan Konduksi Melalui Dinding Masif

Modul perhitungan konduksi termal melalui dinding masif didasarkan pada prinsip analogi elektrik, sehingga untuk setiap lapis bahan dinding masif dianggap memiliki satu resistansi termal dan satu kapasitas panas jenis. Diagram skematis dan persamaan konduksi yang dipakai adalah :

- diagram skematik untuk setiap sistem dinding yang memisahkan dua zone:



Gambar 1. Sketsa Analogi pada Sistem Dinding yang Memisahkan Zone A dan Zone B

- persamaan perpindahan kalor tak stedi untuk setiap titik permukaan dinding:

$$C_A \frac{dT_{SA}}{dt} = A \cdot h_{RA} (T_{RA} - T_{SA}) + A \cdot h_{CA} (T_{AA} - T_{SA}) + \frac{A}{R} (T_{SB} - T_{SA}) + \ddot{O}_A$$

$$C_B \frac{dT_{SB}}{dt} = A \cdot h_{RB} (T_{RB} - T_{SB}) + A \cdot h_{CB} (T_{AB} - T_{SB}) + \frac{A}{R} (T_{SA} - T_{SB}) + \ddot{O}_B$$

Modul Perhitungan Konduksi Melalui Dinding Transparan

Prinsipnya khusus untuk modul ini, perpindahan kalor melalui dinding transparan (diinterpretasikan sebagai kaca jendela) dapat dianggap dalam kondisi stedi karena sifat dan ketebalan bahan kaca "jendela" pada umumnya yang lebih cenderung bersifat segera meneruskan kalor (kalaupun terdapat time-lag, waktunya sangat pendek, untuk konteks bangunan dapat diabaikan)

Modul Perhitungan Debit Ventilasi

Dalam modul ini termasuk pula perhitungan untuk menentukan koefisien tekanan angin pada permukaan dimana terdapat bukaan ventilasi, tekanan dinamis dan tekanan statik, serta kecepatan angin pada ketinggian bukaan. Sebagai data input adalah arah dan kecepatan angin dari luar bangunan. Perhitungan debit ventilasi didasarkan pada persamaan aliran fluida pada umumnya (Bernoulli) sebagaimana pernah dikembangkan oleh Aynsley (1977) yakni :

Untuk setiap bukaan : $Q = C_d A_i \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}}$ dan

Untuk keseluruhan bukaan dan ruang (multi-zone), maka $\sum_{k=1}^n Q_k = 0$

Modul Perhitungan Radiasi Matahari dan Geometri Pembayangan

Prinsipnya bahwa dalam modul ini dapat diestimasi besar radiasi sinar matahari pada permukaan dinding (arah dan kemiringan sembarang) yang meliputi radiasi difus maupun radiasi langsung. Persamaan yang dipakai adalah persamaan empiris oleh BERNARD et al (1979). Dalam modul ini termasuk juga perhitungan prosentase pembayangan sinar matahari pada

dinding/jendela terhadap bentuk pembayang (sunscreen) tipe vertikal dan horisontal. Sebagai data input adalah posisi lintang dari bangunan serta data geometri.

Modul Perhitungan Radiasi Gelombang Panjang

Dimaksudkan bahwa dalam modul ini diperhitungkan pertukaran kalor secara radiatif antara permukaan dinding dengan lingkungan sekitarnya, dengan menggunakan persamaan sederhana:

- untuk permukaan pada ruang luar :

$$j_E = h_{RE} \frac{(1 + \cos \bar{\alpha})}{2} (T_I - T_{SE}) + h_{RE} \frac{(1 - \cos \bar{\alpha})}{2} (T_{AE} - T_{SE})$$

- untuk permukaan pada ruang dalam :

$$j_I = h_{RI} (T_{RM} - T_{SI})$$

Modul Perhitungan Kenyamanan Termal

Untuk mengestimasi tingkat kenyamanan termal dipakai persamaan umum yang dikembangkan oleh Fanger (1970) serta persamaan yang secara khusus ditujukan untuk kondisi iklim tropis lembab yang dikembangkan oleh Sangkertadi (1994).

Modul Perhitungan Pertukaran Kalor Secara Total Dalam Setiap Ruang

Modul perhitungan ini terbagi dua, yakni untuk perhitungan penentuan temperatur udara dan untuk penentuan kelembaban udara, yang ditulis sebagai berikut :

$$\bar{n}_I C_I V \frac{d(T_A)}{dt} = h_T A_T (T_{ST} - T_A) + h_A A (T_S - T_A) +$$

$$\bar{n}_E C_E Q_v (T_E - T_A) + \ddot{O}_m + \ddot{O}_L + \ddot{O}_S + \ddot{O}_i$$

$$\frac{d(m_A r_A)}{dt} = q_M (r_E - r_A) + q_{M,m} + q_{M,i}$$

PEMBAHASAN : PENERAPAN MODEL UNTUK SIMULASI

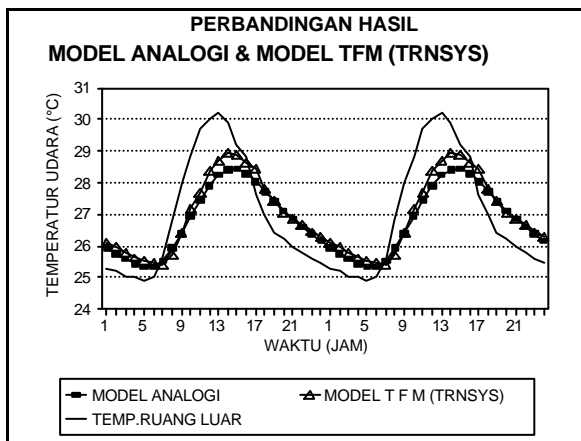
Dalam bagian ini diadakan pembahasan untuk tiga hal yaitu :

- Diadakan perbandingan hasil simulasi dengan menggunakan model sederhana tersebut (model analogi satu dimensi) terhadap keluaran dengan menggunakan model dari ASHRAE yakni model TFM (*Transfer Function Method*)

- Diadakan perbandingan hasil simulasi terhadap hasil pengukuran untuk kasus tipe rumah 7 zone.
- Diungkapkan tentang temuan lain dari model sederhana tersebut dan model lain yang dapat dipakai untuk simulasi energi bangunan.

Simulasi Untuk Membandingkan dengan Model TFM (ASHRAE)

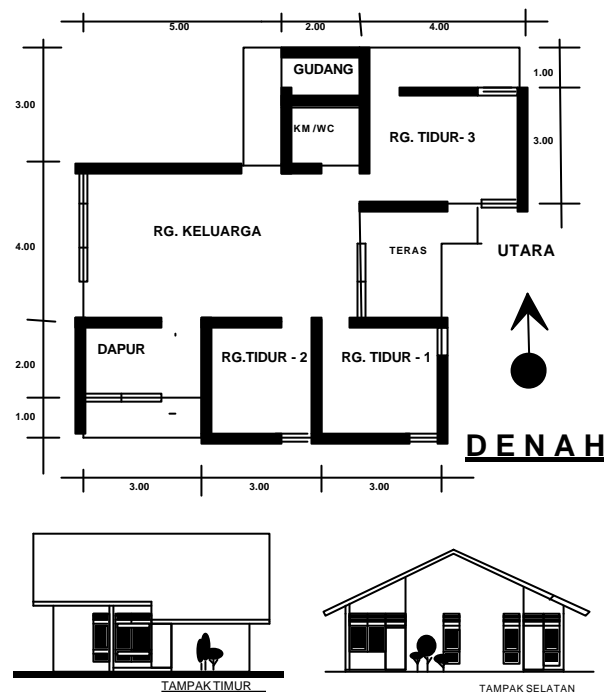
Simulasi ini dilakukan pada kasus sebuah bangunan kotak dua ruang ber dinding batu-bata beratap plat beton, sebagai variabel data input adalah kondisi klimatis ruang luar berupa udara dengan temperatur dan kelembaban yang berubah setiap jam sebagaimana perubahan data harian di daerah beriklim tropis lembab. Simulasi bertujuan untuk memprediksi pola perubahan temperatur udara dalam ruang. Selanjutnya dalam kasus ini diadakan perbandingan antara hasil prediksi temperatur udara dalam ruang menurut model analogi sederhana dan menurut model TFM (*Transfer Function Method*) dari ASHRAE (1985). Gambar.2. menunjukkan hasil/keluaran simulasi dari kedua model tersebut. Nampak bahwa terdapat kemiripan diantara hasil dari kedua model tersebut. Namun terdapat perbedaan tentang waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi puncak (maksimum atau minimum) yakni sekitar 1 (satu) jam. Model analogi membutuhkan waktu lebih cepat satu jam untuk mencapai kondisi maksimum dibandingkan model TFM.



Gambar 2. Perbandingan hasil simulasi berupa temperatur udara dalam ruang antara model analogi (model sederhana) yang dipakai dalam studi ini dan model TFM (*Transfer Function Method*) dari ASHRAE. Sebagai kasus adalah bangunan 2-zone ber dinding bata 12 cm.

Simulasi untuk Tipe Rumah Tropis 7-Zone

Simulasi ini bertujuan untuk memprediksi perubahan temperatur udara dalam ruang dari sebuah tipe rumah tropis 7-zone (gambar.3). Pada rumah tersebut pernah diadakan pengukuran termis oleh Mas Santosa (1986). Pengukuran meliputi iklim mikro ruang luar maupun ruang dalam. Dalam studi ini hasil pengukuran tersebut dapat dijadikan bahan perbandingan terhadap kelayakan model analogi sederhana. Adapun kondisi lingkungan (iklim mikro: suhu udara, kec.angin) sebagai input simulasi, diambil dari data hasil pengukuran oleh Mas Santosa (1986).



Gambar 3. Denah dan Tampak Rumah 7-Zone Sebagai Kasus Studi

Sedangkan data radiasi matahari diestimasi melalui modul perhitungan yang ada dalam model. Data teknis (sifat termis) mengenai bahan untuk elemen bangunan disajikan dalam tabel 1. Hasil/keluaran dari simulasi yang dibandingkan terhadap data hasil pengukuran adalah temperatur pada permukaan bahan atap (di bagian dalam ruang atap) serta temperatur permukaan bahan plafond, dan temperatur ruang atap dan ruang huniannya (ruang keluarga).

Pada Tabel.2 dan Gambar.4. disajikan perbandingan antara hasil keluaran melalui simulasi dengan menggunakan model analogi sederhana dan hasil pengukuran. Nampak bahwa secara rata-rata dapat dikatakan tidak terdapat perbedaan yang terlalu besar antara kedua metoda

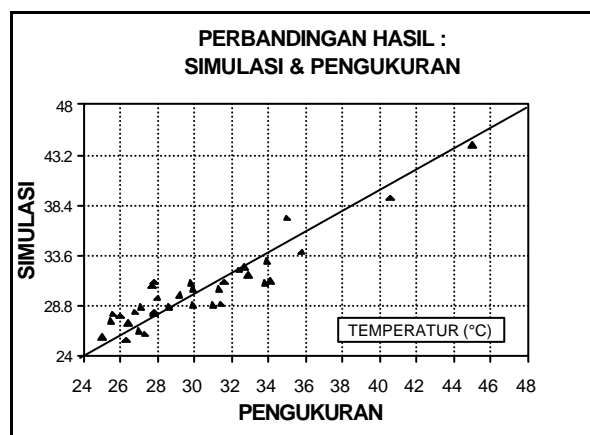
tersebut, dalam prosentase, deviasi rata-rata adalah 3,5% (dari 44 angka yang dibandingkan). Deviasi terbesar adalah 12% yakni saat terjadi perbedaan sebesar 3,1 °C antara hasil simulasi terhadap pengukuran pada kasus temperatur permukaan plafond di ruang dalam pada pukul 21.00. Namun khusus mengenai hasil/keluaran tentang temperatur udara di dalam ruang hunian (ruang keluarga), ternyata tidak terdapat perbedaan yang besar, bahkan hasilnya relatif mendekati.

Tabel 1. Data Sifat Termis Bahan Pada Elemen Konstruksi

Elemen	Bahan	Ketebalan (m)	Konduktivitas Kalor (W/m °C)	Kapasitas Kalor Jenis (J/kg °C)	Massa Jenis (kg/m ³)	Koefisien absorpsi kalor pada permukaan
Dinding	Batu-bata	0.12	0.8	800	1700	-
Dinding	Spesi	0.015	1.4	1000	2000	0.5
Atap	asbes	0.004	0.37	1050	1600	0.3
Plafon	asbes	0.004	0.37	1050	1600	0.3
Lantai	tegel teraso	0.02	1.75	1000	2200	0.5

Tabel 2. Perbandingan Hasil Simulasi (Perhitungan) Dengan Hasil Pengukuran

Jam	Temp. udara luar (°C)	Temperatur permukaan atap bagian dalam (ruang atap) (°C)		Temperatur udara ruang atap (°C)		Temperatur permukaan plafond bagian ruang atap (°C)		Temperatur permukaan plafond bagian ruang keluarga (°C)		Temperatur udara di ruang keluarga (°C)	
		Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran	Simulasi	Pengukuran
06.00	25	25.9	25	27.4	25.5	28.1	27	27.9	26	27.5	26.4
09.00	28	39.2	40.6	31.8	32.9	29	31.4	28.9	31	28.8	28.6
12.00	30.1	44.2	46	33.9	35.8	31.3	34.1	31	33.8	30.5	31.3
15.00	29.2	37.3	35	33.1	33.9	32.6	32.7	32.3	32.4	31.2	31.6
18.00	27.5	29.6	28	28.9	29.9	30.5	29.9	31	29.8	29.9	29.2
21.00	26.1	26.1	27.3	28.1	27.8	30.8	27.7	31.1	27.8	28.7	28.6
24.00	25.6	25.6	26.3	26.4	27	28.3	26.8	28.7	27.1	28.2	27.8



Gambar 4. Perbandingan antara Hasil Simulasi dan Pengukuran, pada Kasus Bangunan Rumah Tinggal 7-Zone.

Pengujian model oleh peneliti lain.

Selain model sederhana tersebut, juga terdapat model yang menerapkan persamaan beda hingga (dikenal juga sebagai model beda hingga). Depecker (1985) menguji keandalan model sederhana dengan membandingkannya terhadap model beda hingga, khususnya untuk penerapan pada kasus tipe bangunan hunian. Hasilnya menunjukkan bahwa ternyata terdapat perbedaan kecil yang masih dapat ditoleransi. Pengujian model sederhana juga pernah dilakukan oleh Hobaica (1991) dengan membandingkan terhadap hasil experimentasi untuk kasus tipe rumah tropis lembab di Venezuela. Hasilnya juga menunjukkan deviasi yang masih dapat ditoleransi antara simulasi dan pengukuran.

KESIMPULAN

Melalui studi ini telah ditampilkan model perpindahan panas yang sederhana, namun dapat dipakai untuk mengevaluasi kasus pada kondisi tak stedi. Kesederhanaannya terletak pada asumsi "homogenitas" temperatur untuk setiap elemen bangunan. Sehingga diadakan anggapan bahwa temperatur udara dalam ruang selalu dianggap homogen (tidak diadakan pembedaan antara temperatur udara di bagian tengah ruang dan di bagian tepi ruang). Demikian juga tentang anggapan bahwa temperatur permukaan dinding juga selalu homogen. Penyederhanaan ini pada akhirnya juga meringankan prosedur perhitungan. Namun begitu, ternyata setelah diadakan perbandingan terhadap model lain dari AHSRAE maupun terhadap hasil pengukuran, dapat disimpulkan bahwa model sederhana tersebut dapat dianggap layak untuk dipakai mengevaluasi performa termal pada bangunan tropis, dengan tingkat ketelitian yang cukup memadai.

Namun begitu perlu dicatat tentang keterbatasan pada model ini, sebagai akibat dari penerapan asumsi homogenitas, maka kita tidak mendapatkan hasil temperatur untuk setiap titik dalam suatu ruangan atau permukaan. Yang kita dapatkan hanya anggapan temperatur rata-rata dalam suatu ruangan atau pada suatu permukaan. Jadi kita juga tidak dapat membedakan besarnya temperatur dalam suatu ruang berdasarkan fungsi jarak atau ketinggian. Apabila diinginkan mendapatkan hasil yang lebih mendetail misalnya untuk mendapatkan hasil distribusi fluktuasi temperatur, maka disarankan digunakan model

lain misalnya model yang menggunakan metoda elemen hingga atau volume hingga. Dalam dunia industri model detail tersebut telah dikomersialkan dan dikenal sebagai paket program CFD (Computational Fluid Dynamics). Beberapa contoh program CFD diantaranya adalah Phoenix, Fluent, Star-CD, dll.

DAFTAR NOTASI

T_{SA}	temperature resultan permukaan dinding untuk Zone-A ($^{\circ}\text{C}$)
T_{SB}	temperature resultan permukaan dinding untuk Zone-B ($^{\circ}\text{C}$)
T_{RM}	temperature radiatif rata-rata permukaan dinding ($^{\circ}\text{C}$)
h_{RA}	koefisien transfer kalor radiatif untuk Zone-A ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
h_{RB}	koefisien transfer kalor radiatif untuk Zone-B ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
h_{CA}	koefisien transfer kalor konvektif untuk Zone-A ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
h_{CB}	koefisien transfer kalor konvektif untuk Zone-B ($\text{W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
A	luas permukaan dinding (m^2)
R	resistan termis bahan dinding ($\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
Φ	flux energi yang mengenai permukaan dinding (misalnya radiasi matahari, dll), (W)
t	waktu (detik)
C	kapasitas kalor sistim dinding ($\text{J}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)
V	volume ruangan (m^3)
h_T	koefisien transfer kalor untuk dinding kaca
T_E	temperatur udara diruang luar ($^{\circ}\text{C}$)
Q_v	debit volume udara ventilasi (m^3/s)
$\Phi_m, \Phi_L, \Phi_s, \Phi_i$: flux energi (kalor) dari manusia, listrik, sinar matahari, proses internal lainnya (dapur, kompor, dll), (W)
$Q_M, Q_{M,m}, Q_{M,i}$: debit massa (kg/s) udara ventilasi, debit massa uap air dari produksi internal/manusia, dapur, dll (kg/s)
r	kelembaban udara (absolut), (kg/kg)
γ	sudut kemiringan dinding
Q	debit ventilasi (m^3/s)
A	luas bukaan (m^2)
DP	beda tekanan antara dua zone yang dipisahkan oleh bukaan ybs (pascal)
ρ	massa jenis udara (kg/m^3)

DAFTAR PUSTAKA

Aynsley R M, Melbourne W, Vlickery B. J., *Architectural aerodynamics*, Applied Sciences Publisher Ltd, London, 1977.

Bernard R., Menguy G., Schawrtz M., *Le Rayonnement solaire. Conversion thermique et applications*, Technique et Documentation, Paris, 1979.

Depecker, *Constitution et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le champ de l'architecture. Le cas de la thermique*, These de Docteur d'etat es sciences, INSA de Lyon, 1985.

Fanger, *Thermal comfort*. Mc. Graw Hill, New York, 1970.

Givoni, B., Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems. *Energy and buildings no 17*, 1991: pp 117-31.

Hobaica M. E., *Validation experimental d'un model de thermique du batiment en climat tropical humid*, These de Doctorat, Universite Paris VI, 1991.

Johnson. S., *Greener Buildings*, Mac millan, Hampshire, 1993.

Jones P J, Alexander D K, Rahman A M, *Evaluation of the thermal performance of low-cost tropical housing*, Proceedings of the third international conference, IBPSA, Adelaide, 1993.

Kreith F, Arko Prijono, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, edisi ketiga, Erlangga, Jakarta, 1986.

Kukreja, *Tropical Architecture*, Tata Mac Graw Hill, New Delhi, 1978.

Lippsmeier, G., Syahmir Nasution, *Bangunan Tropis* (Terjemahan), Erlangga, Jakarta, 1994.

Mas Santosa, *Climatic factors and their performance on the design of buildings in hot humid country with special reference to indonesia*, Phd thesis, University of Queensland, 1986.

Mangunwijaya J. B., *Pasal Pasal Penghantar Fisika Bangunan*, Gramedia, Jakarta, 1980.

Raldi A K, dkk, *Pengukuran konduktivitas kalor material bangunan lokal*, Laporan Penelitian, Loan no 3311-IND Bank Dunia XXI, Fak Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 1996.

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.

Sangkertadi, *Kenyamanan Termal didalam Rumah Tropis*, Laporan Penelitian DPP, Fak Teknik Unsrat, Manado, 1995.

-----, TRNSYS, Manual version 12, Solar Energy Laboratory University of Wisconsin ,1991.

-----, *Handbook Fundamentals 1985*, American Society of Heating Referigerating and Air Conditionning Engineers. New York, 1985.