

Kenyamanan Panas Tubuh, suatu analisa & aplikasinya untuk suatu ruang kerja

Oleh **WIDJI EDIOLOEGITO dan
DADANG AHMAD S.**

PENDAHULUAN

Dalam tulisan ini akan dibahas pengkondisian udara untuk memperoleh suasana nyaman, khususnya di dalam ruang tempat manusia melakukan kegiatannya. Pengkondisian udara merupakan hal yang berhubungan erat dengan perpindahan panas di antara penghuni dan lingkungannya. Oleh karenanya pembahasan ini dimulai dengan bahasan tentang cara-cara perpindahan panas, yakni secara konduksi, konveksi dan radiasi, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan tentang metabolisme dalam tubuh manusia. Setelah itu dilanjutkan dengan melihat hubungan antara kenyamanan tubuh dengan perpindahan panas. Dengan memperhitungkan hal-hal tersebut di atas, udara di dalam ruang tempat manusia melakukan kegiatannya dapat dikondisikan.

PERPINDAHAN PANAS

Konduksi panas

Perpindahan panas dengan cara ini memerlukan media (padat, cair dan gas) hantaran, yang keadaannya diam. Dalam media penghantar ini, panas secara estafet dipindahkan lewat getaran-getaran atom (*phonon*), atau dibawa oleh elektron bebas dari suatu tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat lain yang bertemperatur rendah. Perpindahan panas akan berhenti apabila terjadi keseimbangan panas (tidak ada gradient temperatur)

k adalah konduktivitas panas fluida

μ adalah viskositas fluida

C_p adalah kapasitas panas pada tekanan tetap fluida

P

Tadalah beda tempratur antara fluida dengan dinding permukaan yang disapu aliran fluida

Pada konveksi paksaan hC merupakan fungsi dari :

$$hC = f(v, p, C_p, D, k, \mu)$$

v adalah kecepatan aliran fluida

ρ adalah rapat massa fluida

C_p adalah kapasitas panas pada tekanan tetap fluida

D adalah diamter pipa

k adalah konduktivitas panas fluida

μ adalah viskositas fluida

Dalam pemakaian di bidang teknik, biasa juga koefisien konveksi hC dimodifikasi ke dalam bentuk hL melalui hubungan :

$$hL = \frac{hC A}{L}$$

A adalah luas permukaan yang disapu aliran fluida

L adalah panjang permukaan yang disapu aliran fluida

Radiasi Panas

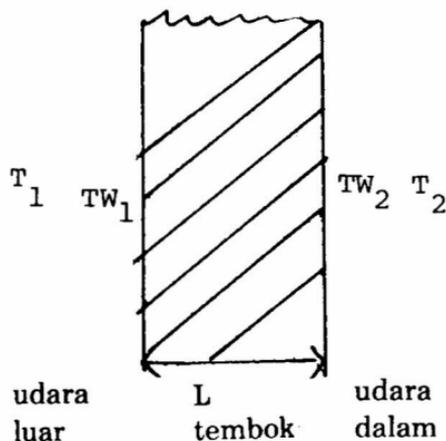
Perpindahan panas ini tidak memerlukan medium hantaran, karena panas dibawa oleh gelombang elektromagnetik yang terpancar dari permukaan yang relatif panas menuju ke permukaan yang relatif dingin untuk kemudian diserapnya. Dengan memanfaatkan hukum Stefan - Boltzmann, kita dapat merumuskan rapat arus panas menurut :

$$\overset{\circ}{H} = \alpha \sigma (T_W^4 - T^4)$$

α adalah koefisien penyerap panas dari permukaan yang dingin

σ adalah tetapan Stefan - Boltzmann

Pada perpindahan panas yang merupakan kombinasi antara konveksi dan konduksi, maka kita perlu menggabungkan koefisien konveksi dan konduksi sebagai suatu koefisien gabungan seperti halnya pada contoh berikut



Udara luar bertemperatur (T_1); permukaan tembok luar bertemperatur (T_{w1}); permukaan tembok dalam bertemperatur (T_{w2}); udara dalam bertemperatur (T_2), seperti yang terlihat pada Gambar (1-1). Pada keadaan ini panas akan berpindah:

- (i). Dari udara luar ke permukaan tembok luar dengan konveksi :

$$\dot{H}_1 = h_{c1} (T_1 - T_{w1})$$

- (ii). Dari permukaan tembok luar ke permukaan tembok dalam dengan konduksi :

$$\dot{H}_2 = \frac{k}{L} (T_{w1} - T_{w2})$$

- (iii) Dari permukaan tembok dalam ke udara luar;

$$\dot{H}_3 = h_{c2} (T_{w2} - T_2)$$

Pada pemakaian ini kita hanya membatasi diri pada perpindahan yang mantap (*steady*) saja, yaitu terpenuhinya hungan

$$\dot{H}_1 = \dot{H}_2 = \dot{H}_3$$

Dengan sedikit modifikasi pada tiga

macam perpindahan panas di atas maka akan diperoleh :

$$\dot{H} = \mu (T_1 - T_2)$$

Dalam hal ini merupakan koefisien hantaran gabungan :

$$\mu = \frac{1}{\frac{1}{h_{c1}} + \frac{1}{h_{c2}} + \frac{L}{K}}$$

secara umum apabila terjadi perpindahan panas yang merupakan kombinasi konduksi konveksi berturutan, maka koefisien hantaran gabungan dapat dihitung dari :

$$\mu = \frac{1}{\sum \frac{1}{hc_i} + \sum \frac{L_i}{k_i}}$$

$\frac{1}{hc_i}$ dan $\frac{1}{k_i}$ merupakan koefisien resistivitas panas.

METABOLISME DALAM TUBUH MANUSIA

Tubuh manusia dapat diekivalenkan sebagai suatu mesin kalor yang mengubah energi kimia yang berasal dari makanan menjadi kerja dan panas, yang lazimnya disebut metabolisme. Panas yang dihasilkan tubuh ini harus dikeluarkan karena jika tidak akan terjadi laju penimbunan panas dalam tubuh yang akan mengakibatkan naiknya tempratur tubuh. Tempratur tubuh bagian dalam harus diusahakan konstan, karena jika tempratur ini bervariasi dalam rentang suhu yang besar akan mengakibatkan naiknya tempratur tubuh. Tubuh mempunyai distribusi tempratur yang tidak merata, organ tubuh bagian dalam umumnya mempunyai suhu yang relatif lebih tinggi daripada suhu pertukaran panas antara tubuh dengan kondisi lingkungan dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$Q_M = \pm Q_C \pm Q_R \pm Q_E \pm Q_S \dots\dots (2-1)$$

Q_M adalah laju produksi panas dalam tubuh (metabolisme), (BTU/Hr)

Q_C adalah laju pertukaran panas antara tubuh dengan lingkungan secara konveksi, (BTU/Hr)

Q_R adalah laju perpindahan panas secara radiasi dari tubuh pada lingkungannya, (BTU/Hr)

Q_E adalah laju kehilangan tubuh secara evaporasi, (BTU/Hr)

Q_S adalah laju panas yang tersimpan dalam tubuh, (BTU/Hr)

Q_M sangat dipengaruhi oleh jenis kelamin dan aktivitas kerja, besarnya bervariasi antara 250 BTU/Hr sampai dengan 2400 BTU/Hr. Pada keadaan istirahat penuh laju metabolisme merupakan fungsi dari luas permukaan tubuh, sedang luas permukaan tubuh dapat dihitung apabila berat dan tinggi badan diketahui berdasarkan formula DU BOIS sebagai berikut :

$$S.A. = W^{0,425} \times H^{0,725} \times 71,84 \dots (2-2)$$

S.A adalah luas permukaan tubuh, (Cm²)

W adalah berat badan, (kg)

H adalah tinggi tubuh (Cm)

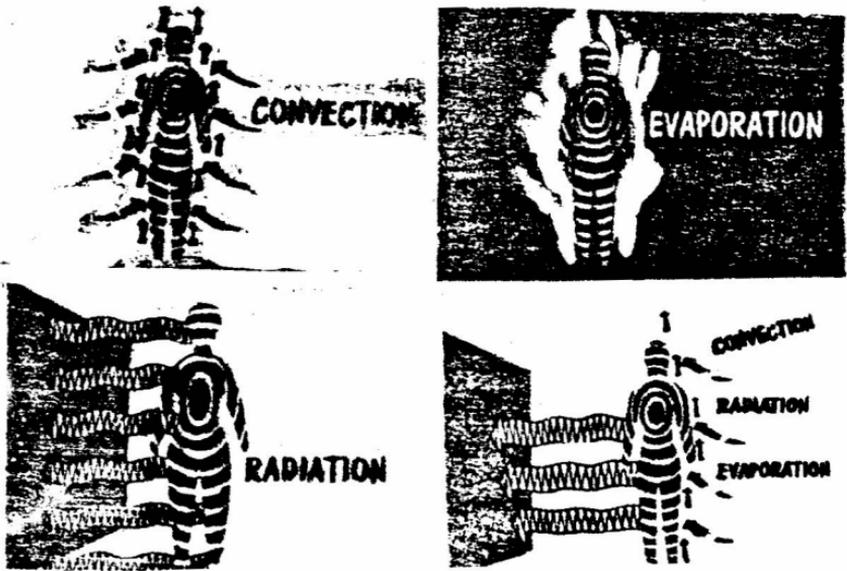
untuk penggunaan praktis, misal perencanaan pengkondisian dengan sistem Air Conditioning (AC), harga QM biasanya dihubungkan dengan jenis aktivitas kerja, sebagai contoh dapat diperlihatkan pada Tabel 1.

TABEL 1
Estimate of Body Heat Production for various types of activity.

Kind of work	Activity	qM BTU/Hr
	sleeping	250
	sitting quietly	400
Light work	sitting, moderate arm and trunk movement (e.g. desk work, typing)	450-550
	Sitting, moderate arm and leg movement (e.g. playing organ, driving Car)	550-650
	standing, light work at machine or bench, mostly arms	550-650
Moderate work	sitting, heavy arm and leg movement	650-800
	standing, light work at machine or bench some walking about	650-750
	standing, moderate work at machine or bench some walking about	750-1000
	walking about, with moderate lifting or pushing	1000-1400
Heavy work	Intermittent heavy lifting, pushing or pulling (e.g., pick, and shovel work)	1500-2000
	Hardest sustained work	2000-2400

Sumber : ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967, p.119.

Dari persamaan (2-1) dan persamaan (2-2) di atas telah disebutkan bahwa laju kehilangan panas tubuh terjadi secara radiasi, penguapan (*evaporasi*) dan konveksi, seperti yang terlihat pada gambar (2-1)



Gambar (2-1). Laju kehilangan panas tubuh secara radiasi, evaporasi dan konveksi. (Carier Hand Book).-

Sebenarnya masih ada cara lain seperti konduksi yaitu bila tubuh bersinggungan dengan benda yang temperaturnya lebih dingin dan juga melalui pernafasan, tetapi kedua yang disebut terakhir ini orde-nya relatif kecil sehingga dapat diabaikan. Laju kehilangan panas tubuh sebagian besar terjadi secara radiasi dan konveksi. Perpindahan panas tubuh secara radiasi dapat terjadi jika temperatur tubuh lebih tinggi dari temperatur lingkungannya. Perpindahan panas tubuh secara konveksi dapat terjadi jika ada hembusan angin yang menyapu tubuh.

Kemungkinan-kemungkinan persamaan (2-1)

Seperti halnya untuk harga QS bisa menjadi negatif apabila kondisi atmosfer relatif lebih hangat dibandingkan dengan kondisi atmosfer pada metabolisme regulasi. Pada keadaan ini temperatur permukaan tubuh turun tetapi penurunan temperatur jaringan tubuh di bawah kulit dapat dihindarkan. Harga QS dapat pula berharga positif apabila kondisi atmosfernya relatif lebih rendah dibandingkan dengan kondisi atmosfer metabolisme regulasi. Apabila QS negatif, tubuh mengadakan reaksi berupa pengeluaran keringat. Untuk penguapan keringat (*evaporasi*) dibutuhkan panas yang diperoleh dari tubuh (QE), sehingga temperatur yang lebih tinggi dari kondisi normal tubuh dapat dicegah. Laju penguapan keringat ini tergantung kepada kecepatan angin dan makin kecil kelembaban udara makin besar pu-

la laju *evaporasi*, sehingga tubuh kehilangan air dan akibatnya dapat mengganggu organ-organ tubuh tertentu. Untuk mengahakan tubuh berada dalam keadaan nyaman harga QS harus mendekati atau sama dengan nol.

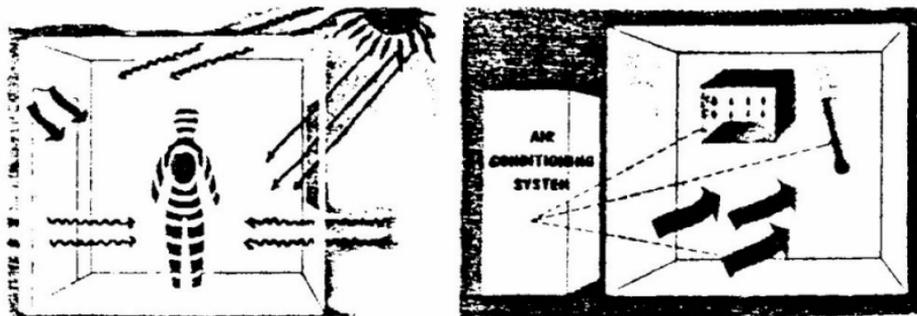
Selanjutnya kelembaban udara mempengaruhi keadaan tubuh dalam kasus seperti berikut :

Jika kelembaban turun mendekati nol dan temperatur udara naik maka tubuh berusaha mengadakan aksi untuk mempertahankan temperatur tubuh, dengan mengeluarkan keringat. Hal ini dapat menyebabkan kekejangan otot.

Jika kelembaban dan temperatur udara tinggi maka tubuh mengalami kesukaran mengeluarkan panas baik secara radiasi, konveksi maupun secara evaporasi, akibatnya temperatur tubuh terus naik, apabila hal ini tidak bisa diatasi maka dapat merusak jaringan-jaringan sel.

HUBUNGAN ANTARA KENYAMANAN TUBUH DENGAN PERPINDAHAN PANAS

Lingkungan panas sangat mempengaruhi kesehatan manusia, misal sakit kepala, mudah marah (emosi), prestasi dan kapasitas kerja menurun. Menurut Clarence A Mill berpendapat bahwa suhu yang ideal direkomendasikan untuk aktivitas kerja adalah berkisar antara 38°F sampai dengan 64°F . Yang dimaksud dengan kenyamanan adalah rasa biasa secara *psychis* terhadap iklim/kondisi lingkungan dan belum berarti telah ada adaptasi secara fisiologis. Kenyamanan tubuh dipengaruhi oleh temperatur kelembaban, kecepatan angin dan aktivitas tubuh. Untuk jelasnya diberikan gambaran manusia dalam suatu ruangan dengan adanya sumber panas matahari, seperti yang terlihat pada Gambar (3-1).



Gambar (3-1). Memperlihatkan manusia berada dalam ruangan; sumber panas matahari dan peristiwa perpindahan panas. (Carrier Hand Book)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kenyamanan di atas dapat diakibatkan oleh kondisi berikut, yaitu :

Beban panas di luar ruangan yang terdiri dari :

- a. Sinar matahari yang masuk lewat jendela, mengenai dinding dan atap rumah
- b. Temperatur udara luar
- c. Tekanan uap udara
- d. Angin yang berhembus
- e. Infiltrasi/ventilasi

Beban di dalam ruangan yang terdiri dari :

- a. Jumlah manusia
- b. Pencahayaan buatan
- c. Peralatan/perkakas yang menggunakan listrik, gas, uap panas
- d. Mesin, motor listrik
- e. Sumber panas lain yang tidak disebut pada butir (a, b, c dan d)

DISAIN PENGKONDISIAN

Disain pengkondisian digunakan untuk menentukan beban total panas (BTU/Hr) yang terdapat pada ruangan, kemudian dengan rekomendasi beban panas ini kita kondisikan ruangan tersebut dengan sistem Air Conditioning "(AC)" agar supaya memperoleh kesejukan, kenyamanan dan kesegaran pada tubuh manusia. Rekomendasi disain pengkondisian di dalam ruangan yang ideal sebagai berikut : untuk kantor, rumah, sekolah, apartemen, rumah sakit, udara kering (dry Bulb) berkisar antara 74°F sampai dengan 76°F dan kelembaban udara berkisar antara 50 % sampai dengan 45 %.

Perhitungan secara umum untuk pengkondisian udara pada sistem pendingin dalam suatu ruang kerja, antara lain meliputi :

- i). Penimbunan panas matahari dalam bahan bangunan
- ii). Penerusan panas matahari oleh dinding dan atap
- iii). Penerusan panas matahari selain oleh dinding dan atap
- iv). Sumber panas yang berada dalam ruangan (manusia, power, pencahayaan buatan, perkakas dan lain-lain).

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara alamiah apabila tidak ada keseimbangan panas maka akan berlangsung perpindahan panas, sedangkan kondisi nyaman ber-

hubungan dengan keseimbangan panas antara makhluk dengan lingkungannya.

2. Kenyamanan tubuh manusia dalam ruangan secara physis dipengaruhi oleh temperatur, kelembaban, kecepatan angin dan akti aktivitas kerja manusia.
3. Untuk menjamin aktivitas kerja manusia di dalam ruangan perlu adanya pengkondisian udara (Air Conditioning)

Daftar Pustaka

1. Lee F. John and Sears W.F, *THERMODYNAMICS "An Introduction Tex For Engineering Student"* Second Edition, Japan Publication Traiding Company, LTD, Tokyo Japan 1963
2. Eckert. G.R.E. and D.M. Robert, Jr, *"ANALYSIS OF HEAT AND MASS TRANSFER"* Mc. Graw - Hill, Kogakusha LTD, 1972
3. Carrier, *"HANBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN"* Mc. Graw Book Company, 1965
4. Ashrae *"HANBOOK OF FUNDAMENTAL"*, 1967
5. Mappadjanci A.Situru, paper *"PENGKONDISIAN LINGKUNAN DAN HUBUNGANNYA DENGAN KENYAMANAN DAN PRESTASI KERJA"*, 1979

