

MODUL PERKULIAHAN

Fisika Bangunan

Sifat Termal bahan

Abstract

Mata kuliah ini membahas tentang keterlibatan kinerja lingkungan ruang dalam (indoor environment performance) dalam perancangan arsitektur sehingga akan tercapai produktifitas kerja yang dilakukan melalui kenyamanan termal, audio, kenyamanan dari kebisingan, penglihatan dan kebersihan udara ruangan

Kompetensi

Setelah mengikuti mata kuliah ini diharapkan dapat menjelaskan prinsip-prinsip yang berkaitan dengan kenyamanan termal, audio, penganggulungan kebisingan, dan kenyamanan visual serta dapat menganalisis secara sederhana terhadap sebuah bangunan

4.1 Perpindahan Panas

Sifat termal bahan dikaitkan dengan perpindahan kalor.

Perpindahan kalor ada 2, yaitu :

- Keadaan tetap (steady heat flow)
- Keadaan berubah (transient heat flow)

1. Perpindahan Kalor Keadaan Tetap

Dalam keadaan yang sebenarnya perpindahan kalor bersifat rumit. Oleh karena itu untuk kepentingan praktis, persamaannya disederhanakan.

Perpindahan kalor suatu bahan tidak hanya tergantung pada tahanan (resistance) bahan tersebut tetapi tahanan dari kedua permukaan bahan tersebut, atau koefisien permukaan bahan tersebut.

Persamaan aliran kalor : $q = UA (t_1 - t_2)$

Dimana, q = aliran kalor

U = transmittan keseluruhan

A = luas bahan atau elemen

$t_1 - t_2$ = perbedaan suhu udara dua permukaan

4.1 Sifat termal bahan

Persamaan lain : $q = 1/R A (t_1 - t_2)$

$$U = 1/R$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_n}{k_n}}$$

Dimana, h_i = koefisien permukaan dalam

ho=koefisien permukaan luar

k=konduktifitas termal

d=tebal lapisan

Tahanan termal

R adalah jumlah dari tahanan termal dari kedua permukaan dan jumlah tahanan dari masing masing lapisan.

$$R=1/h_i+1/h_o+d_1/k_1+.....d_n/k_n$$

$$= R_i+R_o+R_1+.....+R_n$$

Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktifitas termal

1.Kandungan uap air

Konduktifitas termal air sebesar 25x konduktifitas udara tenang. Oleh karena itu apabila suatu benda berpori diisi air maka akan berpengaruh terhadap konduktifitas termal. Konduktifitas termal yang rendah pada bahan insulasi adalah selaras dengan kandungan udara dalam bahan tersebut.

Hubungan antara konduktifitas termal dan kandungan uap air dituangkan dalam persamaan sbb:

$$K_h=K_d(1+0,0125h)$$

Dimana, K_h =Konduktifitas termal pada kandungan uap air h

K_d =Konduktifitas termal dalam keadaan kering

H=kandungan uap air (%berat)

2.Suhu

Pengaruh suhu terhadap konduktifitas termal suatu bahan adalah kecil.

Namun secara umum dapat dikatakan bahwa konduktifitas termal akan meningkat apabila suhu meningkat.

3.Keapatan dan Porositas

Konduktifitas termal berbeda pengaruh terhadap keapatan apabila poro-pori bahan semakin banyak maka konduktifitas termal rendah. Perbedaan konduktifitas termal bahan dengan keapatan yang sama, akan tergantung kepada perbedaan struktur, yang meliputi: ukuran, distribusi, hubungan pori/lubang.

Batas Konduktifitas Termal Bahan.

Konduktifitas termal bahan insulasi terbatas kepada konduktifitas gas dalam pori-por. Tidak mungkin bahan yang berpori memiliki konduktifitas termal lebih rendah dari udara tenang (still air).

Namun demikian ada bahan insulasi (foam) yang mempunyai konduktifitas termal lebih rendah dari udara tenang.

Beberapa sifat konduktifitas termal bahan dan sifat lainnya.

Klasifikasi	Perincian	Berat jenis Kgm/m ³	Kalor spesifik Kkal/kgm ^o c.	konduktifitas Kkal/m ²
Papan	Asbestos			
	semen	1602	0,20	0,56
	Gypsum board	993	0,25	0,15
Tanah pengisi	Tanah	1201	0,20	0,32
Bahan lantai	Aspal	2243	0,22	1,12
	Marmer	2723	0,20	2,16
	Teraso	2435	0,20	1,49
Bahan kaca	Kaca	2483	0,16	0,64

Bahan insulasi	Asbestos,selimut	144	0,20	0,05
	Asbes, Papan insulasi	705	-	0,09
	Papan gabus	96	0,47	0,04
	Mineral wool	16-160	0,21	0,03
Bahan bata	Batu bata	1826	0,18	0,71
	Beton (ringan)	320	0,21	0,07
	Beton (padat)	2323	0,21	1,30
	Plester	1762	0,22	0,58
Bahan atap	Atap genteng	1922	0,22	0,75
	Tanah	-	-	
	Baja	7849	0,12	45,88
Kayu	Kayu	481	0,45	0,11

Koefisien Permukaan

Koefisien permukaan berpengaruh terhadap perpindahan kalor secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

Faktor-faktor yang mempengaruhi perpindahan kalor pada permukaan :

1. Emisifitas permukaan (e)
2. Kekasaran permukaan
3. Kecepatan udara di atasnya atau disebelahnya
4. Suhu

1. Emisifitas Permukaan

Emisifitas permukaan yang semakin tinggi akan menyebabkan peningkatan kalor yang hilang secara radiasi.

Apabila suatu permukaan memancarkan radiasi kepada suatu daerah yang memiliki suhu yang lebih rendah, maka koefisien permukaan akan meningkat.

2.Kecepatan udara yang semakin tinggi pada sebuah permukaan akan meningkatkan kadar aliran kalor secara konveksi paksa, dan meningkatkan koefisien permukaan.

3.Perbedaan Suhu antara permukaan dan udara di atasnya akan menyebabkan meningkatnya koefisien permukaan disebabkan perpindahan kalor secara konveksi.

4..Semakin kasar sebuah permukaan, akan menyebabkan meningkatnya perpindahan kalor secara konveksi yang juga menyebabkan koefisien permukaan meningkat, hal ini disebabkan terjadinya turbulensi (perputaran) udara yang mengalir didekatnya.

5.koefisien permukaan yang vertikal berbeda dengan koefisien permukaan yang horizontal.

2.1.1 Sifat Termal Bahan

Perbedaan suhu antara dalam dan luar bangunan menyebabkan perpindahan kalor. Kadar kalor yang melalui setiap unsur bangunan bergantung kepada sifat termal bahan konstruksi bangunan. Bahagian berikut akan menerangkan sifat-sifat termal bahan yang merangkumi

- kalor spesifik dan kapasiti termal,
- konduksi termal dan konduktan,
- tahanan dan resistan,
- konduksi permukaan dan tahanan permukaan dan
- emisiviti.

2.1.1.1 Kalor Spesifik dan Kapasiti Termal

Kalor spesifik sebuah bahan adalah sejumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebuah massa bahan sebanyak $1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Unit kalor tentu adalah $\text{J kg}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Bahan yang lebih besar nilai kalor tentu akan menyerap kalor yang lebih besar untuk setiap unit kenaikan suhunya. Kapasiti termal, yang berkaitan dengan massa dan kalor tentu daripada unsur tersebut, memainkan peranan yang penting. Bagi dinding yang menggunakan konstruksi berat, diperlukan sejumlah kalor yang besar untuk menaikkan suhu unsur tersebut sebelum memindahkan kalornya ke sisi dalaman. Akibatnya, terdapat 'masa lambat' antara gandaan kalor suria maksimum pada permukaan luar dan masa perpindahan kalor maksimum oleh permukaan ruang dalaman terhadap udara di dalam.

'Masa lambat', ϕ , didefinisikan sebagai beda masa antara masa suhu permukaan dalam mencapai maksimum dan suhu permukaan luar mencapai maksimum. Masa lambat suatu unsur selari dengan muatan termal dan terbalik dengan konduktannya. Oleh itu, dinding batu bata yang berat dan tebal memiliki masa lambat yang tinggi, manakala dinding yang ringan dan nipis akan mempunyai masa lambat yang rendah.

2.1.1.2 Konduksi Termal dan konduktan

Konduksi termal suatu bahan, k , didefinisikan sebagai kadar aliran kalor (secara konduksi) melalui seunit luas sekeping bahan dengan seunit ketebalan dan seunit perbezaan suhu (Harkness, 1978; Billington, 1952). Konduktan daripada kepingan bahan didefinisikan sebagai kadar perpindahan kalor melalui seunit luas sebuah bidang apabila perbezaan suhu antara permukaannya adalah 1°C . Konduksi adalah merupakan sifat sesungguhnya daripada bahan.

Konduksi termal dipengaruhi oleh empat faktor yaitu,

- kandungan uap air,
- suhu,
- berat jenis dan,
- keadaan pori-pori bahan.

Sebuah objek dengan nilai konduksi yang besar (nilai- k) adalah pengalir yang baik. Sebaliknya apabila memiliki nilai k yang kecil objek itu merupakan pengalir yang buruk atau penebat yang baik. Sifat-sifat penebatan hanya dapat dikekalkan apabila berada dalam keadaan kering. Dalam semua kes, konduksi meningkat selari dengan meningkatnya kandungan lembapan (Billington, 1952). Konduksi termal air adalah kira-kira 25 kali udara bersih. Oleh itu tidak menghairankan apabila penggantian udara dalam liang atau antara butir halus dalam bahan dengan air akan mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap konduksi termal bahan. Kehadiran air akan menggandakan konduksi termal daripada dinding papan dan batu bata pada amnya dan juga mempunyai pengaruh yang besar terhadap bahan-bahan bangunan yang lain.

Pengaruh suhu terhadap konduksi termal bahan adalah kecil berbanding selang suhu yang biasa ditemui dalam bangunan. Secara umum, konduksi termal cenderung meningkat selari dengan kenaikan suhu. Situasi ini lebih kerap berlaku dalam kes bahan ringan (light-weight) dengan perbandingan udara dalam rongga yang besar.

Konduksi juga dipengaruhi oleh berat jenis dan 'keliangan' (porosity). Nilai konduksi berubah apabila terdapat perubahan berat jenis dan kandungan lembapan sesuatu bahan.

Bahan dengan berat jenis yang tinggi merupakan pengalir yang baik, sebaliknya apabila berat jenis semakin rendah, kandungan udara dalam rongga semakin besar maka semakin rendah pula konduksi termal. Secara umum dapat disimpulkan konduksi termal yang rendah bagi kebanyakan bahan penebatan sesungguhnya sesuai dengan udara yang dikandunginya bahan tersebut.

2.1.1.3 Rintangan dan Tahanan

Kebalikan daripada konduksi ($1/k$) adalah tahanan, ρ , dengan unit $m^{\circ}C W^{-1}$. Rintangan didefinisikan sebagai balikan daripada konduktan:

$$R = \frac{1}{C} = \frac{d}{k} = d\rho \quad {}^{\circ}C/W \quad (2.2)$$

di mana,

- R - Rintangan
- C - Kalor tentu udara ($W/kg^{\circ}C$)
- d - Pekali rangkap pindah ($W/j/m^2/^{\circ}C$).
- k - Konduksi termal ($W/j/m/^{\circ}C$)
- ρ - Berat jenis udara,

2.1.1.4 Konduktan Permukaan dan Rintangan Permukaan

Perpindahan kalor dalam bangunan perlu mengambil kira perpindahan kalor daripada udara ke udara melalui dinding, khususnya daripada udara luar ke udara dalam atau sebaliknya. Selain rintangan daripada dinding, terdapat pula rintangan yang diakibatkan oleh permukaannya. Rintangan pada permukaan ini nipis dan disebut dengan 'rintangan filem' atau 'rintangan permukaan'. Rintangan permukaan yang terdapat pada dinding adalah rintangan permukaan dalaman dan luaran, sesuai dengan kehadiran lapisan filem udara pada kedua sisi dinding ini. Kebalikan daripada rintangan permukaan adalah 'konduktan permukaan' yang ditandakan dengan f .

2.1.1.5 Emisiviti

Perpindahan kalor secara radiasi daripada satu objek kepada objek lainnya. Dalam proses ini bahan perantaranya tidak menjadi panas. Intensitas kalor yang dipancarkan oleh suatu permukaan diberikan oleh hukum Stefan Boltzmann:

$$q_r = \sigma eAT^4 \quad \text{W} \quad (2.3)$$

di mana

- q_r - Gandaan kalor radiasi suria (W/j)
- σ - konstan Stefan Boltzman, 1.797×10^8
- e - emisiviti bagi sebuah bumbung atau dinding (m^2)
- A - Luas permukaan dalaman bagi sebuah bumbung atau dinding (m^2)
- T - Suhu udara dalam ruang pada suatu masa (K)

Emisiviti sebuah permukaan didefinisikan sebagai perbandingan daripada energi yang dipancarkan oleh permukaan dengan energi yang dipancarkan oleh sebuah objek hitam pada suhu yang sama seperti permukaan itu. Nilai emisiviti, e , dan juga kebeserapan, a , daripada sebuah objek hitam adalah satu unit. Oleh itu, objek hitam adalah penyerap dan juga pemancar yang sempurna daripada segi radiasi termal.

Emisiviti sebuah permukaan bagi radiasi gelombang panjang adalah perbandingan radiasi termal dari satu luas terhadap radiasi daripada satu luas daripada sebuah pemancar berwarna hitam pada suhu yang sama;

$$\text{Keberpencaran} = \frac{\text{sinaran terma dipancarkan oleh permukaan pada suatu suhu.}}{\text{sinaran terma dipancarkan oleh 'benda hitam' pada suhu yang sama.}} \quad (2.4)$$

Emisiviti merupakan fungsi daripada (1) sifat permukaan, warna dan kekasaran. Permukaan yang halus dan terang memiliki emisiviti yang rendah; dan (2) suhu permukaan. Untuk setiap panjang gelombang berlaku persamaan seperti berikut:

$$e + r = 1 \quad (2.6)$$

di mana e adalah emisiviti dan r adalah radiasi suria

Apabila emisiviti sama dengan daya serapan pada suatu suhu, maka persamaan di atas berubah menjadi:

$$e = \alpha = 1 - r \quad (2.7)$$

2.1.1.6 Rintangan Termal Ruang Udara

Konduksi termal untuk udara sangat rendah (Billington, 1978). Oleh itu sebuah ruang yang tertutup rapat merupakan sebuah rintangan yang baik. Perpindahan kalor secara konduksi adalah kecil berbanding dengan radiasi kalor dari satu permukaan ke permukaan lain. Selain itu juga berlaku proses perpindahan kalor secara perolakan di dalam ruang udara tersebut. Perpindahan kalor secara perolakan lebih besar berbanding dengan konduksi.

Konduksi termal udara tenang (still air) samada di bawah bahan-bahan bangunan, liang dalam dinding ataupun bumbung dianggap memiliki rintangan termal yang tinggi. Kebanyakan proses perpindahan kalor melalui sebuah rongga berlaku secara radiasi, yaitu antara permukaan yang berhadapan pada rongga tersebut dan hanya sedikit kalor dipindahkan secara konduksi melalui udara (Harkness, 1978).

Apabila liang dilapik dengan lapisan nipis logam penebat (seperti *aluminium foil*) sebagai penebatan yang bersifat memantul, maka rintangannya akan meningkat. Hal ini disebabkan daya serapan untuk lapisan tersebut terhadap radiasi adalah rendah (daya serapan gelombang pendek adalah kira-kira 0.05). Mengecat dengan warna putih (daya serapan kira-kira 0.90) tidak akan menghasilkan rintangan yang lebih baik berbanding dengan menggunakan lapisan nipis logam (Harkness, 1978). Secara umum, permukaan logam yang berkilat adalah bahan penebat gelombang panjang, sedangkan permukaan dengan cat putih sesuai untuk radiasi suria.

2.1.1.7 Rintangan Menyeluruh

Dinding atau bumbung bangunan biasanya terdiri daripada beberapa lapisan yang berbeda bahannya. Rintangan menyeluruh daripada lapisan tersebut didapati dengan menambahkan setiap rintangan lapisan tersebut. Oleh itu, persamaan rintangan menyeluruh adalah:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad {}^{\circ}\text{CW} \quad (2.9)$$

di mana R_T adalah rintangan menyeluruh bagi lapisan-lapisan sedangkan R_1, R_2 dan R_3 adalah rintangan untuk lapisan 1, 2 dan 3

2.1.1.8 Keberhantaran atau Nilai- U

Keberhantaran atau nilai U daripada sebuah objek didefinisikan sebagai kebalikan daripada rintangan menyeluruh. Unit keberhantaran adalah sama dengan konduktan, yaitu $W m^{-2} C^{-1}$. Pada praktikalnya, keberhantaran melalui dinding bangunan daripada udara luar ke udara dalam sentiasa diambil kira. Dalam hal ini rintangan filem luaran dan dalaman harus diambil kira secara berasingan daripada rintangan dinding ataupun bumbung.