

PENGARUH VARIASI SUMBER KALOR TERHADAP BESARNYA LAJU PERPINDAHAN KALOR MELALUI DINDING KOMPOSIT

Oleh :

Rudi Hariyanto¹

H.M Ma'ruf

Abstrak : Perpindahan kalor merupakan ilmu yang mempelajari tentang bagaimana kalor (*Heat*) berpindah/mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi ke temperatur lebih rendah jadi panas dapat berpindah karena adanya “ beda temperatur “. Ada tiga jenis perpindahan kalor, namun untuk aliran kalor yang melewati bahan komposit maka analisa perpindahan kalornya menggunakan analisa perpindahan kalor secara konduksi. Adapun besarnya laju perpindahan kalor yang melalui material komposit tersebut akan berbeda-beda tergantung pada beberapa parameter seperti: sifat bahan, luas permukaan, ketebalan bahan, dan parameter lainnya. Penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi sumber kalor terhadap laju perpindahan kalor melalui dinding komposit menghasilkan kesimpulan bahwa laju perpindahan panas juga semakin meningkat sebanding dengan kenaikan sumber panas. Namun pemakaian dinding komposit secara seri, menyebabkan laju perpindahan panas menyeluruh akan semakin menurun, dikarenakan adanya pengaruh oleh ketebalan bahannya. Semakin tebal bahan maka laju perpindahan panas akan semakin turun.

Kata-kata kunci : variasi kalor, laju perpindahan kalor, komposit

¹ Dosen Tetap Fakultas Teknik Jurusan Mesin Universitas Merdeka Malang

PENDAHULUAN

Dalam cabang ilmu teknik (*engineering*) yang biasanya dinamakan ilmu termal (*thermal science*) tercakup ilmu termodinamika (*thermodynamics*) dan perpindahan kalor (*heat transfer*). Perpindahan kalor mempunyai peranan penting sebagai pelengkap analisa termal dinamika yang hanya mempelajari sistem-sistem dalam keseimbangan saja, yaitu dengan menyeimbangkan hukum-hukum tambahan yang membuka jalan untuk meramalkan laju perpindahan energi.

Hukum-hukum pelengkap ini didasarkan atas tiga macam perpindahan panas/kalor yang fundamental yaitu : *Konduksi* atau hantaran (*conduction*), *Konveksi* atau aliran (*convection*), dan *Radiasi* atau sinaran (*radiation*).

Diantara ketiga cara perpindahan panas tersebut diatas, perpindahan panas konduksi akan digunakan untuk menjelaskan analisa perpindahan panas pada berbagai komposit dengan variasi sumber panas.

Berdasarkan sifat-sifat bahan/material komposit yang beraneka ragam, maka besarnya laju perpindahan kalor yang melalui material komposit tersebut akan berbeda pula. Hal ini tergantung pada beberapa parameter diantaranya yaitu sifat bahan/material tersebut, arus listrik, Voltase listrik, luas permukaan, ketebalan bahan, dan parameter lainnya.

Berdasar titik pandang perckayasaan (*engineering*), masalah kunci adalah penentuan laju (*rate*; dikenal juga dengan istilah kecepatan dan pesat) perpindahan kalor pada beda suhu yang ditentukan. Untuk menaksir biaya, kelayakan, dan besarnya peralatan yang diperlukan untuk memindahkan sejumlah kalor tertentu dalam waktu yang ditentukan, harus diadakan analisa perpindahan kalor yang terperinci.

TUJUAN PENELITIAN

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi sumber kalor terhadap laju perpindahan kalor pada material komposit.
2. Untuk mengetahui besarnya koefisien perpindahan kalor menyeluruh.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pengertian Perpindahan Kalor Konduksi.

Pembahasan kali ini akan membahas masalah perpindahan kalor secara konduksi. Bila suatu benda dipanaskan pada bagian ujungnya, maka akan terjadi perpindahan kalor dari ujung yang dipanaskan ke ujung yang lainnya, sedemikian hingga akhirnya tercapai suatu temperatur akhir yang sering juga disebut temperatur kesetimbangan, jika kalor berpindah melalui suatu zat dengan cara merambat maka disebut perpindahan kalor secara konduksi.

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme dimana panas dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi di dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dengan konveksi, dan dalam beberapa hal juga dengan radiasi.

Gradien suhu (*temperature gradient*) yang terdapat dalam suatu bahan yang homogen akan menyebabkan terjadinya perpindahan energi di dalam medium itu, yang lajunya dapat dihitung dengan suatu persamaan yang dikenal dengan *Hukum Fourier*, yaitu :

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial n}$$

dimana :

q = Perpindahan panas (W; BTU/hr)

k = Konduktivitas termal dari suatu bahan/material (BTU/hr.ft.F° atau W/m.K)

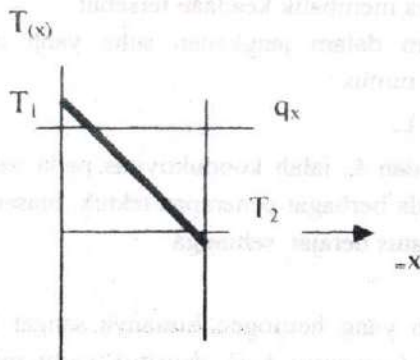
A = Luasan permukaan normal (m^2 ; ft^2)

$\frac{\partial T}{\partial n}$ = Gradien suhu dalam arah normal (tegak lurus) ($^{\circ}C/m$)

tanda minus dalam *Hukum Fourier* persamaan diatas dipakai untuk memenuhi persyaratan hukum kedua Termodinamika, perpindahan energi termal karena adanya *gradien* termal hanya bisa berlangsung dari daerah panas ke yang lebih dingin.

Jika profil suhu di dalam medium itu bersifat linier, maka gradien suhu itu (yang merupakan turunan parsial) dapat diganti dengan :

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{T_2 - T_1}{x_2 - x_1}$$



Gambar 1: Profil suhu

Sumber : Donald R. Pitts " *Teori dan soal-soal Perpindahan Kalor* ", hal : 1

Sifat linier seperti diatas selalu ditemukan pada medium homogen yang mempunyai k tertentu dalam perpindahan kalor keadaan stedy atau keadaan tunak.

Perpindahan kalor keadaan stedi berlangsung bilamana suhu pada setiap titik dalam benda itu, termasuk titik-titik pada permukaan benda, tidak bergantung pada waktu. Jika suhu berubah menurut waktu, tentulah ada energi yang menumpuk atau dikeluarkan dari benda itu. Laju penumpukan energi itu adalah :

$$q_{\text{menumpuk}} = mC_p \frac{\partial T}{\partial x}$$

dimana m adalah hasil kali volume (V) dan densitas (ρ).

2. Sifat-sifat Bahan.

a. Konduktivitas Termal Zat Padat

Konduktivitas termal logam dalam fase padat yang diketahui komposisinya bergantung terutama pada suhu saja. Pada umumnya, k logam-logam murni berkurang sesuai dengan suhunya, tetapi pengaruh unsur-unsur padu biasanya membalik keadaan tersebut.

Konduktivitas termal logam dalam jangkauan suhu yang cukup luas biasanya dinyatakan dengan rumus :

$$k = k_o(1 + b\theta + c\theta^2)$$

Dimana : $\theta = T - T_{rujukan}$ dan k_o ialah konduktivitas pada suhu rujukan $T_{rujukan}$. Kisaran suhu ini, pada berbagai penerapan teknik, biasanya cukup kecil, katakanlah beberapa ratus derajat, sehingga :

$$k = k_o(1 + b\theta)$$

Konduktivitas termal bahan yang homogen biasanya sangat bergantung pada densitas lindak semu (*apparent bulk density*), yaitu massa bahan dibagi dengan volume total. Dalam volume ini termasuk juga volume rongga, seperti kantong-kantong udara yang terdapat di dalam batas-batas bahan itu. Konduktivitas juga bergantung juga pada suhu. Sebagai kaidah umum, k bahan-bahan tak homogen bertambah tinggi jika suhu dan densitas lindak semu makin tinggi.

b. Kalor Spesifik.

Kalor spesifik (*specific heat*) suatu zat merupakan ukuran perubahan energi yang tersimpan dengan suhu :

$$\text{Kalor spesifik pada volume tetap : } c_v = \left. \frac{\partial u}{\partial T} \right|_v$$

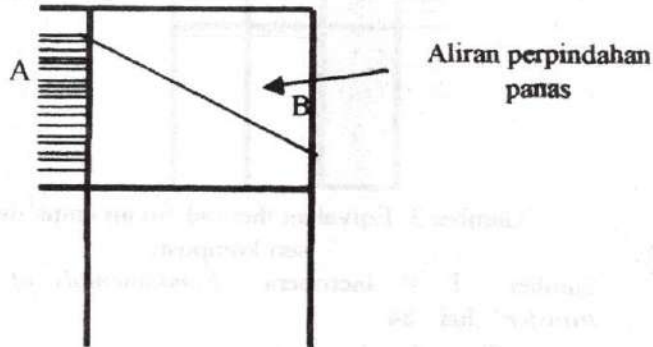
$$\text{Kalor spesifik pada tekanan tetap : } c_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p$$

Disini u adalah energi dalam persatuan massa dan h entalpi persatuan massa. Pada umumnya, u dan h merupakan fungsi dari dua variabel, yaitu suhu dan volume spesifik, atau suhu dan tekanan. Untuk zat-zat tak mampu mampat (*incompressible*), seperti zat padat dan zat cair, c_p dan c_v

mempunyai nilai numerik yang sama. Tetapi untuk gas, kedua kalor spesifik itu sangat berbeda nilainya. Satuan c_p dan c_v ialah $BTU/lbm.^{\circ}F$ atau $J/kg.K$.

c. Dinding Datar

Konduksi satu dimensi dalam dinding datar, temperatur hanya sebagai fungsi kordinat x dan panas berpindah pada kordinat ini.



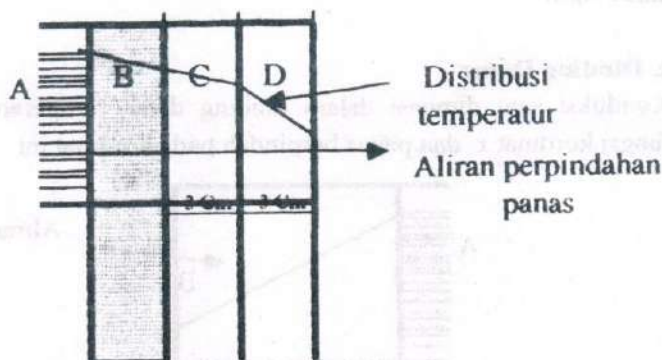
Gambar 2: Perpindahan panas yang melalui dinding datar.

Sumber : F. P. Incropera, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", hal : 75.

Sebuah dinding datar, memisahkan dua fluida yang berbeda temperatur. Perpindahan Panas terjadi dengan cara berkonveksi dari temperatur fluida panas pada $T_{\infty 1}$ ke permukaan dinding datar pada $T_{s,1}$, berkonduksi melalui dinding dan kemudian berkonveksi dari permukaan dinding lainnya pada $T_{s,2}$ ke fluida dingin pada $T_{\infty 2}$. Dengan mengabaikan kondisi dinding, kita tentukan distribusi temperatur sehingga kemudian akan didapatkan perpindahan panas konduksi rata-rata.

d. Dinding Komposit.

Sebagai dinding bisa digabungkan menjadi tahanan panas seri atau paralel dengan material lainnya yang berbeda. Dinding komposit seri seperti pada gambar 2.4. :



Gambar 3: Equivalent thermal circuit untuk dinding seri komposit

Sumber : F. P. Incropera, "Fundamentals of Heat and Mass transfer", hal : 84

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_{tot}}$$

dimana : $T_{\infty,1} - T_{\infty,4}$ adalah beda suhu seluruhnya dan termasuk jumlah seluruh tahanan panas, maka persamaan menjadi :

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\left[\left(\frac{1}{h_1 A} \right) + \left(\frac{L_A}{k_A A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B A} \right) + \left(\frac{L_C}{k_C A} \right) + \left(\frac{1}{h_4 A} \right) \right]}$$

Dengan sistim komposit ini sering digunakan untuk bekerja dengan seluruh koefisien Heat Transfer, U, sering diartikan dengan kata-kata analogi Hukum Newton pendingin, maka :

$$q_x = UA \Delta T$$

dimana : ΔT adalah beda temperatur keseluruhan. Koefisien perpindahan panas keseluruhan dituliskan ke tahanan panas total, maka persamaan menjadi :

$$U = \frac{1}{R_{tot} A} = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{h_1} \right) + \left(\frac{L_A}{k_A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B} \right) + \left(\frac{L_C}{k_C} \right) + \left(\frac{1}{h_4} \right) \right]}$$

secara umum dapat dituliskan :

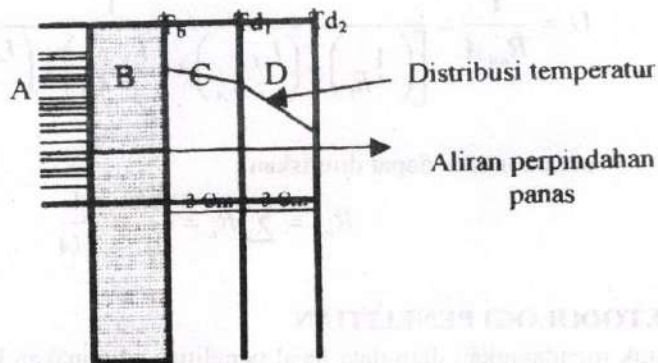
$$R_{tot} = \sum R_i = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA}$$

METODOLOGI PENELITIAN

Untuk mendapatkan data-data hasil penelitian digunakan langkah-langkah sebagai berikut :

- Study literatur dengan cara mempelajari referensi sebagai pendukung dalam mengolah data dan membahas data hasil penelitian.
- Study eksperimen dengan cara mendapatkan data-data secara langsung dari hasil eksperimen yang dilakukan di laboratorium.

PERHITUNGAN



Gambar 4: Layout penelitian

Keterangan :

- A = Isolator
- B = Elemen Pemanas
- C = Bahan Almunium.
- D = Bahan kuningan.

Dari hasil penelitian besarnya laju perpindahan panas yang melalui dinding komposit dengan variasi sumber panas, yang dilakukan peneliti di laboratorium fenomena dasar pada tanggal 20-21 Februari 2002 diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 1: Data-data hasil pengujian

Keterangan	Satuan	Percobaan			
		1	2	3	4
Panjang ($L_A=L_B$)	m	0.03	0.03	0.03	0.03
Volume (v)	m^3	6×10^{-5}	6×10^{-5}	6×10^{-5}	6×10^{-5}
T lingkungan (T_∞)	K	300	300	300	300
T_{base} (T_b)	K	387.5	390.5	394	399.5
Arus Listrik (I)	A	3.5	4	4.5	5
Tegangan Listrik (V)	V	22.65	23.875	24.252	25.725
Td_1	K	384.5	387	389.5	395
Td_2	K	379	382.5	384	388.5

a. Perhitungan Daya Pemanas (P).

$$\begin{aligned}
 P &= V \cdot I \cdot \cos \varphi \\
 &= 22.65 \text{ Volt} \times 3.5 \text{ ampere} \times 0.8 \\
 &= 63.42 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

Dimana : $\cos \varphi$ = faktor daya

b. Perhitungan Kalor Bangkitan (q)

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{P}{v} \\
 &= \frac{63.42 \text{ W}}{6 \times 10^{-5} \text{ m}^3} \\
 &= 1.057 \times 10^6 \text{ W/m}^3
 \end{aligned}$$

dimana : P = Daya pemanas (W)

v = Volume benda (m^3)

- c. Perpindahan panas persatuan luas (q''_x)

$$\begin{aligned} q''_x &= q \cdot L_A \\ &= 1.057 \times 10^6 \text{ W/m}^2 \cdot 0.03 \text{ m} \\ &= 31710 \text{ W/m}^2 \end{aligned}$$

- d. Temperatur dinding (T_d)

Dari tabel A-4 Frank P. Incropera, didapatkan harga k Aluminium dan k kuningan sebesar :

k Aluminium : 239.8125 W/m.K

k Kuningan : 124.9792 W/m.K

maka :

$$\begin{aligned} T_{d_1} &= T_b - \frac{q \cdot L_A^2}{2 \cdot k_A} \\ &= 387.5 \text{ K} - \frac{1.057 \times 10^6 \text{ W/m}^2 \cdot (0.03 \text{ m})^2}{2 \times 239.8125 \text{ W/m.K}} \end{aligned}$$

$$= 385.52 \text{ K}$$

$$T_{d_2} = T_{d_1} - \frac{q''_x \cdot L_B}{k_B}$$

$$= 385.5 \text{ K} - \frac{31710 \text{ W/m}^2 \cdot 0.03 \text{ m}}{124.9792 \text{ W/m.K}}$$

$$= 377.90 \text{ K}$$

- e. Berdasarkan tabel A-4 Frank P. Incropera " *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* " untuk sifat udara pada temperatur film.

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{T_{d_2} + T_\infty}{2} \\ &= \left(\frac{377.90 + 300}{2} \right) \text{ K} \\ &= 338.95 \text{ K} \end{aligned}$$

Sehingga dengan cara interpolasi diperoleh harga-harga dibawah ini :

$$k = 29.1453 \times 10^{-3} \text{ W/m K}$$

$$\nu = 19.7581 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\alpha = 28.191 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0.70162$$

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$= \frac{1}{338.95}$$

$$= 2.9503 \times 10^{-3} \text{ 1/K}$$

f. Bilangan Rayleigh (Ra).

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_d - T_\infty) L^3}{\nu \cdot \alpha}$$

$$= \frac{9.81 \text{ m/s}^2 \times 2.9503 \times 10^{-3} \text{ 1/K} \times (377.9 - 300) \text{ K} \times (0.03 \text{ m})^3}{19.7581 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 28.191 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 1.09297 \times 10^5$$

g. Bilangan Nuselt (Nu)

$$Nu = 0.68 + \frac{0.67 \cdot Ra^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{\text{Pr}}\right)^{16}\right)^{1/4}}$$

$$= 0.68 + \frac{0.67 \cdot (1.09297 \times 10^5)^{1/4}}{\left(1 + \left(\frac{0.492}{0.70162}\right)^{16}\right)^{1/4}}$$

$$= 10.0177$$

h. Koefisien Perpindahan panas konveksi (h)

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{Nu \cdot k}{L} \\
 &= \frac{10 \cdot 0.01777 \times 29 \cdot 1453 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}\cdot\text{K}}{0.03 \text{ m}} \\
 &= 9.73236 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

i. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)

$$\begin{aligned}
 U &= \frac{1}{\left(\frac{L_A}{k_A} \right) + \left(\frac{L_B}{k_B} \right) + \left(\frac{1}{h} \right)} \\
 &= \frac{1}{\left(\frac{0.03 \text{ m}}{239.8125 \text{ W/m}\cdot\text{K}} \right) + \left(\frac{0.03 \text{ m}}{124.9792 \text{ W/m}\cdot\text{K}} \right) + \left(\frac{1}{9.73236 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} \right)} \\
 &= 9.69790 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}
 \end{aligned}$$

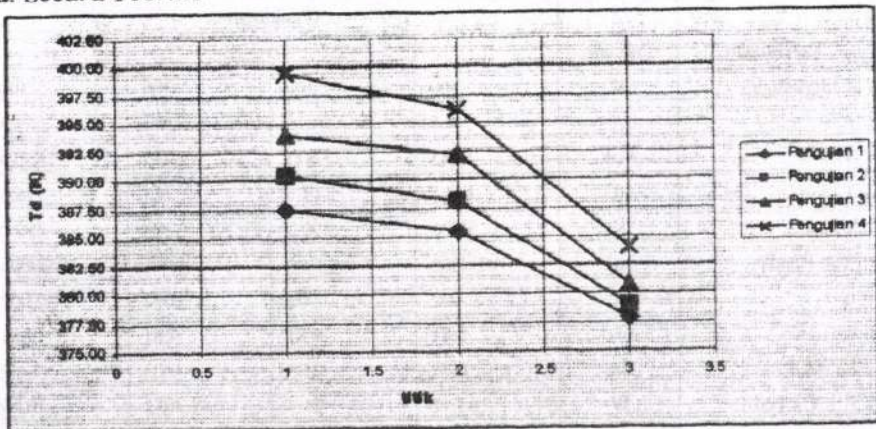
j. Perpindahan panas menyeluruh (q)

$$\begin{aligned}
 q &= U \cdot A \cdot (T_b - T_\infty) \\
 &= 9.69790 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0.002 \text{ m}^2 (387.5 - 300) \text{ K} \\
 &= 1.69713 \text{ W}
 \end{aligned}$$

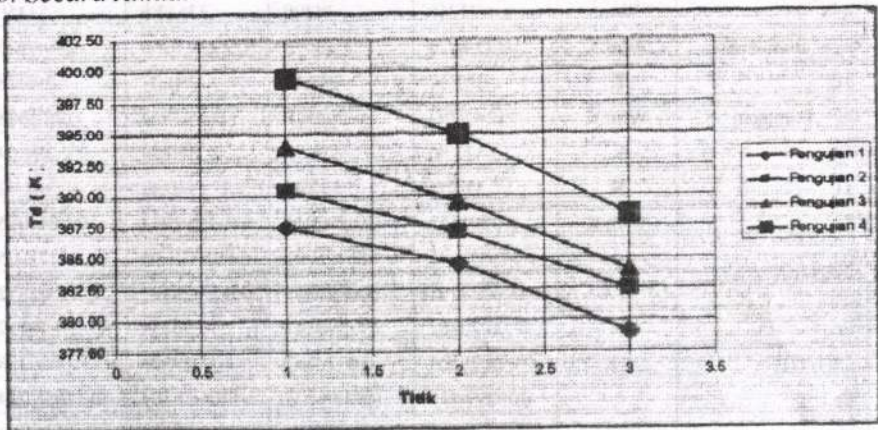
Tabel 2: Data hasil pengujian dan hasil perhitungan

Keterangan	Satuan	Pengujian			
		1	2	3	4
T lingkungan	K	300	300	300	300
l	A	3.5	4	4.5	5
V	Volt	22.65	23.875	24.252	25.725
T base	□C	114.5	117.5	121	126.5
T base	K	387.5	390.5	394	399.5
Vol. Benda	m ³	0.00006	0.00006	0.00006	0.00006
A	m ²	0.002	0.002	0.002	0.002
G	m/s ²	9.81	9.81	9.81	9.81
La = Lb	M	0.03	0.03	0.03	0.03
P = V x I cos□	W	63.42	76.4	87.3072	102.9
Q bangkitan	W/m ³	1057000	1273333.333	1455120	1715000
Q"x	W/m ²	31710	38200	43653.6	51450
k _A = aluminium	W/m.K	239.8125	239.8575	239.9100	239.9925
Td ₁	K	385.52	388.11	391.27	396.28
k _B = kuningan	W/m.K	124.9792	125.2517	125.5834	126.1098
Td ₂	K	377.90	378.96	380.84	384.04
Tf	K	338.95	339.48	340.42	342.02
K	W/m.K	0.0291453	0.0292215	0.0292911	0.0294095
υ	m ² /s	1.97581E-05	1.98617E-05	1.99563E-05	2.0117E-05
□	m ² /s	0.000028191	0.000028343	0.000028482	0.00002872
Pr		0.70162	0.70147	0.70134	0.70112
□=1/Tf	1/K	0.0029503	0.0029457	0.0029375	0.0029238
Ra		109297.439	109438.577	110663.304	112655.714
Nu		10.01777	10.02056	10.04639	10.08793
H	W/m ² .K	9.73236	9.76054	9.80899	9.88936
U	W/m ² .K	9.69790	9.72593	9.77410	9.85399
Q	W	1.69713	1.76039	1.83753	1.96094

a. Secara Teoritis

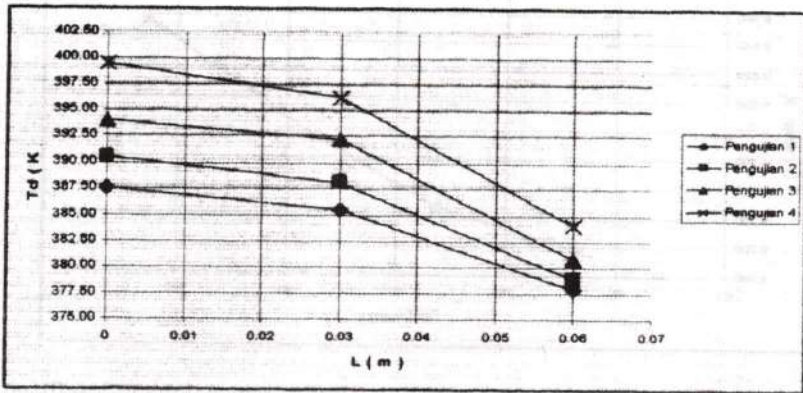


b. Secara Aktual

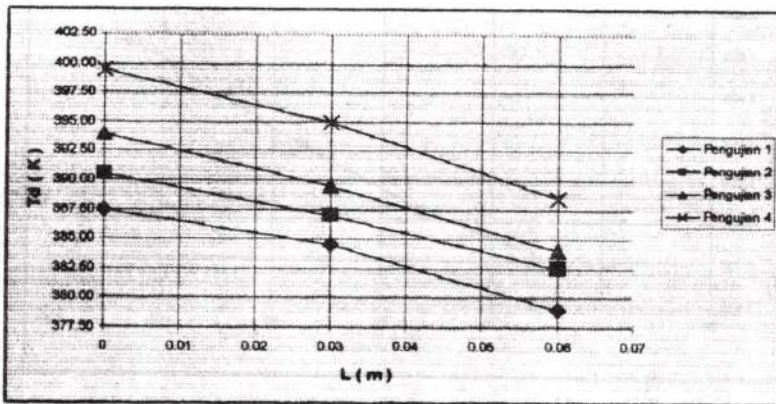


Grafik 1 : Grafik Aliran Temperatur pada dinding

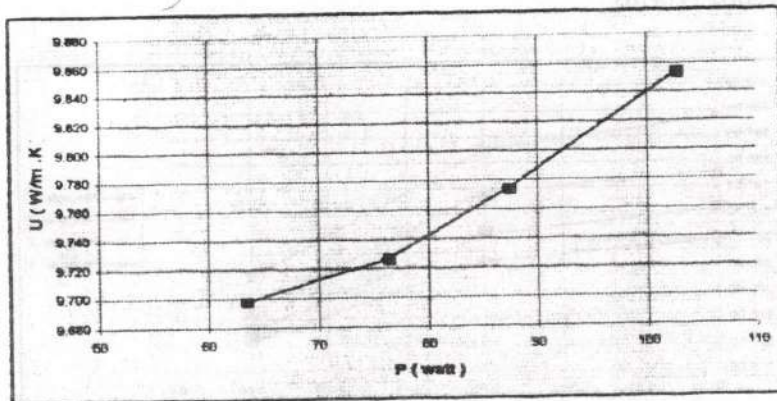
a. Secara Teoritis.



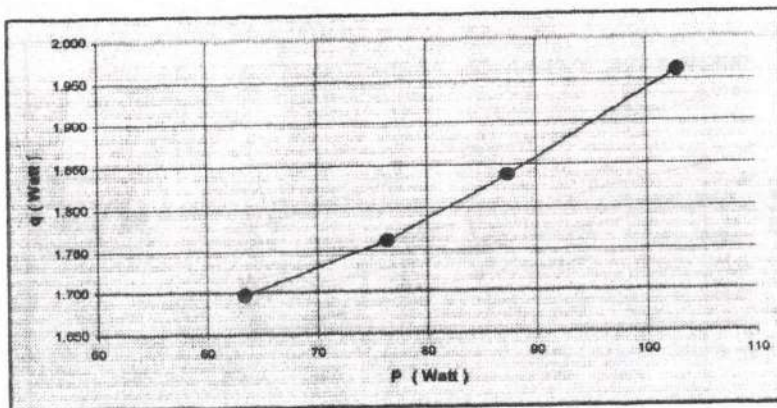
b. Secara Aktual



Grafik 2 : Grafik Hubungan temperatur dengan panjang



Grafik 3 : Grafik Hubungan antara sumber panas dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh



Grafik 4 : Grafik Hubungan antara sumber panas dengan perpindahan panas menyeluruh

PEMBAHASAN

Dari Analisa data yang telah diolah dan divisualisasikan ke dalam bentuk grafik-grafik, maka didapatkan pembahasan sebagai berikut :

a. Distribusi temperatur pada dinding.

Dari grafik 4.1. terlihat bahwa untuk grafik secara aktual garis kurva cenderung lebih lurus dibandingkan dengan kurva secara teoritis. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh lingkungan pada saat pengambilan data, yaitu masuknya temperatur luar melalui celah antara bahan, sehingga menyebabkan temperatur dinding menurun.

b. Grafik hubungan temperatur dengan panjang / ketebalan bahan.

Temperatur yang melalui dinding komposit besarnya ditentukan oleh konduktivitas bahan, hal tersebut terlihat pada grafik 4.2. Pada ketebalan dinding bahan 0.03 m dengan bahan Aluminium, temperaturnya menurun sebesar 1.98 K. Sedangkan dengan ketebalan yang sama yaitu 0.03, dengan bahan kuningan ternyata temperaturnya menurun sebesar 7.62 K. Dengan semakin kecil konduktivitas bahannya, maka temperatur yang melalui dinding akan semakin kecil.

c. Grafik hubungan Sumber panas dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh.

Grafik 4.3. menunjukkan hubungan antara sumber panas dengan koefisien perpindahan panas menyeluruh, dengan sumber panas yang divariasikan semakin besar ternyata koefisien perpindahan panas menyeluruh ikut terpengaruh dengan ikutt membesar juga, hal itu terlihat dari grafik. Selain itu kenaikan koefisien juga dipengaruhi oleh perubahan temperatur.

d. Grafik hubungan antara sumber panas dengan perpindahan panas menyeluruh.

Dari grafik 4.4. kurva cenderung semakin meningkat. Dengan variasi sumber panas yang dinaikkan, maka perpindahan panas menyeluruh akan meningkat pula, hal ini dipengaruhi oleh koefisien perpindahan panas menyeluruh.

KESIMPULAN

Laju aliran perpindahan panas yang melalui dinding komposit dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu : konduktivitas bahan. Konduktivitas thermal bahan akan semakin besar dengan bertambahnya panas yang mengalir melalui bahan komposit tersebut.

Pada bahan Alumunium, konduktivitasnya lebih besar daripada bahan Kuningan. Pada penelitian kali ini alumunium terbukti lebih banyak menghantarkan panas dibandingkan dengan bahan kuningan. Pada grafik dapat kita lihat bahwa pada bahan kuningan, kurva temperatur / panas cenderung menurun. Sedangkan dibandingkan dengan grafik alumunium, penurunan grafiknya tidak terlalu besar. Laju perpindahan panas juga semakin meningkat sebanding dengan kenaikan sumber panas.

Jadi dengan pemakaian dinding komposit secara seri, maka laju perpindahan panas menyeluruh akan semakin menurun, dan hal tersebut juga dapat dipengaruhi oleh ketebalan bahannya, semakin tebal bahan maka laju perpindahan panas akan semakin turun.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayazitoglu Y, 1988, *Element of Heat Transfer*, McGraw-Hill Book Company, Singapore
- Cussons Technology, 1988, *Heat Transfer eksperimen*, England
- Wahyudi A. Harry, *Analisa Besarnya Laju Perpindahan Panas Melalui Dinding Komposit*, Tugas Akhir, 2002
- Holman J. P, 1981, *Heat Transfer, fifth edition*, McGraw-Hill, Ltd, Singapore

- Incroper F. P, 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Fourth Edition, Printed in The United States of America
- Pitts and Sissom, 1983. *Theory and Problems of Heat Transfer*, first edition, McGraw-Hill International Book Company, Singapore
- Reynolds W C, 1994, *Termodinamika Teknik*, cetakan kelima, penerbit Erlangga, Jakarta.
- Kreith Frank, 1997, *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*, edisi ketiga, penerbit Erlangga, Jakarta.