

**PANDUAN RESPONSI
TRANSFER PANAS
(ABE616217)**



**DISUSUN OLEH :
AGUS HARYANTO**

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
Agustus 2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Buku : Panduan Responsi Transfer Panas
Penulis : Agus Haryanto
NIP. 196505271993031002
Instansi : Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
Publikasi : Panduan Praktikum
Tahun Publikasi : 2019
Penerbit : Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

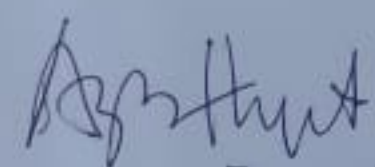
Bandar Lampung, April 2020

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002

Penulis,



Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP. 19650527199303100

Menyetujui,
Ketua LP3M Unila



Prof. Dr. Ahmad Saudi Samosir, S.T., M.T.
NIP. 197104151998031005

DAFTAR ISI

	Hal.
PENGANTAR	ii
Bab 1. KONSEP DASAR PERPINDAHAN PANAS	1-1
Bab 2. KONDUKSI MELALUI SISTEM LAPIS TUNGGAL	2-1
Bab 3. KONDUKSI MELALUI DINDING KOMPOSIT	3-1
Bab 4. PERPINDAHAN PANAS DARI PERMUKAAN BERSIRIP	4-1
Bab 5. KONDUKSI 1-DIMENSI DENGAN SUMBER KALOR	5-1
Bab 6. KONDUKSI 2-DIMENSI	6-1
Bab 7. KONDUKSI TRANSIEN (LUMPED SYSTEM)	7-1
Bab 8. KONDUKSI TRANSIEN PADA BENDA BESAR (CHART HEISLER)	8-1
Bab 9. KONDUKSI TRANSIEN PADA BENDA SEMI INFINIT	9-1
Bab 10. DASAR-DASAR KONVEKSI PAKSA	10-1
Bab 11. RUMUS EMPIRIS KONVEKSI PAKSA EKSTERNAL	11-1
Bab 12. RUMUS EMPIRIS KONVEKSI PAKSA INTERNAL	12-1
Bab 13. KONVEKSI ALAMI	13-1
Bab 14. RADIASI	14-1
Bab 15. PENUKAR PANAS	15-1
LAMPIRAN	

PENGANTAR

Pengalaman mengajar Mata Kuliah Transfer Panas selama lebih dari lima tahun telah memberikan beberapa hal yang patut diperhatikan. Pertama, para mahasiswa mengalami kesulitan mendasar untuk menggunakan teks berbahasa Inggris. Pada saat ini teks-teks berbahasa Inggris relatif mudah diperoleh di internet. Tetapi, sumber-sumber berharga itu akan sia-sia karena mahasiswa tidak bisa menggunakannya. Untuk itu saya telah menulis buku Transfer Panas (Innosains, 2015) yang tersedia untuk mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian. Kedua, pada umumnya mahasiswa mengalami kesulitan dalam menyelesaikan problem perpindahan panas. Meskipun buku Transfer Panas sudah dilengkapi dengan contoh soal yang cukup memadai, kurangnya latihan dari mahasiswa mengakibatkan kurangnya pengalaman. Ketiga, para mahasiswa cenderung tidak berusaha keras. Untuk dua hal terakhir ini, maka saya hadirkan buku Panduan Responsi Transfer Panas.

Buku panduan ini, oleh karena itu, merupakan pelengkap bagi buku ajar Transfer Panas yang sudah lebih dulu terbit. Buku ini merupakan buku kerja dan merupakan usaha untuk meningkatkan kualitas pembelajaran mata kuliah Transfer Panas. Setiap bab akan dimulai dengan ringkasan yang disusul dengan lembar kerja. Contoh soal terjawab diberikan dan dapat dipelajari pada buku Transfer Panas. Berdasarkan contoh-contoh soal tersebut, mahasiswa dipandu untuk mengerjakan lembar kerja. Nilai kegiatan responsi akan didasarkan pada aktivitas mahasiswa dalam mengerjakan soal dalam lembar kerja yang dikumpulkan.

Atas terbitnya buku panduan ini kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada Fakultas Pertanian yang telah memberikan dukungan bagi penerbitannya. Kepada para mahasiswa, khususnya dari Jurusan Teknik Pertanian, juga disampaikan terima kasih atas kesediaannya menggunakan buku ini. Penghargaan juga disampaikan kepada isteri saya yang telah mengikhlaskan sebagian besar waktu luang saya dalam penyusunan materi ini.

Akhirnya, kami mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan di masa depan. Kami merencanakan untuk terus memperbaiki buku ini sesuai kebutuhan.

Bandar Lampung, 07 Agustus 2017

AH

Bab 1

KONSEP DASAR PERPINDAHAN PANAS

RINGKASAN

Perpindahan panas terjadi melalui tiga mode, yaitu: **konduksi**, **konveksi**, dan **radiasi**. Konduksi adalah perpindahan panas melalui suatu penghantar. Konveksi adalah perpindahan panas melalui suatu medium fluida yang bergerak. Radiasi adalah perpindahan panas melalui pancaran dan tidak memerlukan medium. Laju perpindahan panas melalui tiga mode tersebut dapat dinyatakan oleh:

$$\text{Konduksi} \quad \dot{Q}_{\text{kond}} = -kA \frac{\Delta T}{L}$$

$$\text{Konveksi} \quad \dot{Q}_{\text{konv}} = h A (T_s - T_f)$$

$$\text{Radiasi} \quad \dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

di mana k adalah konduktivitas panas ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), ΔT adalah perbedaan suhu ($^\circ\text{C}$), A adalah luas bidang pada arah normal aliran panas (m^2), L adalah tebal bahan (m), h adalah koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$), T_s dan T_f berturut-turut adalah suhu benda padat dan suhu fluida, $\sigma = 5,669 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$, adalah konstanta Stefan-Boltzmann, dan T_1 dan T_2 adalah suhu permukaan benda 1 dan 2.

Menggunakan konsep tahanan termal, laju perpindahan panas dapat dinyatakan dengan:

$$\text{Konduksi} \quad \dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{\text{th, kond}}} \quad \text{dengan} \quad R_{\text{th, kond}} = \frac{L}{kA}$$

$$\text{Konveksi} \quad \dot{Q}_{\text{konv}} = \frac{T_s - T_\infty}{R_{\text{th, konv}}} \quad \text{dengan} \quad R_{\text{th, konv}} = \frac{1}{hA}$$

$$\text{Radiasi} \quad \dot{Q}_{\text{rad}} = \sigma A (T_1^4 - T_2^4) \quad \text{dengan} \quad R_{\text{th, rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}} A}$$

$$\text{di mana} \quad h_{\text{rad}} = \varepsilon \sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)$$

Kapasitas panas atau *panas jenis*, C_p , *konduktivitas panas*, k , dan *difusivitas panas*, α . Kapasitas panas suatu bahan merupakan kemampuan suatu bahan dalam menyimpan panas, dinyatakan dalam satuan $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$. Konduktivitas panas suatu bahan adalah laju aliran panas melintasi satu satuan ketebalan bahan per satu satuan luas permukaan per satu satuan perbedaan suhu, dinyatakan dalam satuan $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$. *Difusivitas panas* didefinisikan sebagai perbandingan antara panas yang dikonduksikan dan panas yang disimpan (m^2/s).

LEMBAR KERJA

1-01 Jika panas 3 kW dihantar melalui sepotong bahan isolasi dengan luas penampang $0,6 \text{ m}^2$, tebal 2,5 cm, dan konduktivitas panas $0,2 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$, hitunglah beda suhu di kedua sisi bahan itu.

JAWAB:

1-02 Suhu pada kedua permukaan suatu dinding datar yang tebalnya 15 cm masing-masing ialah 370°C dan 85°C . Dinding ini terbuat dari suatu kaca khas yang mempunyai sifat-sifat sebagai berikut: $k = 0,78 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$, $\rho = 2700 \text{ kg/m}^3$, $C_p = 0,84 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$. Berapakah aliran panas konduksi melalui dinding ini pada keadaan tunak?

JAWAB:

1-03 Sebuah lapisan gelas-serat tebalnya 13 cm. Beda suhu antara kedua permukaan ialah 85°C . Konduktivitas panas gelas-serat ialah $0,035 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Hitunglah panas yang dipindahkan melalui bahan itu per jam per satuan luas.

JAWAB:

1-04 Sebuah dinding dilapisi dengan isolasi. Tebal lapisan isolasi 2,5 cm, konduktivitas panasnya $1,4 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Suhu dinding di bagian dalam isolasi ialah 315°C . Suhu udara luar 38°C . Dinding melepaskan panas ke lingkungan dengan cara konveksi. Hitunglah nilai koefisien perpindahan panas konveksi yang harus dipertahankan pada muka luar lapisan isolasi agar suhu muka luar tidak melebihi 41°C .

JAWAB:

1-05 Dua permukaan hitam sempurna dibuat sedemikian rupa hingga energi radiasi yang meninggalkan satu permukaan yang bersuhu 800°C dapat mencapai permukaan yang lain. Suhu permukaan yang kedua adalah 250°C . Hitunglah perpindahan panas antara kedua permukaan itu per jam per satuan luas muka yang suhunya 800°C itu.

JAWAB:

1-06 Fluks panas radiasi surya sebesar 700 W/m^2 diserap oleh plat logam yang bagian belakangnya diisolasi sempurna. Koefisien perpindahan panas konveksi plat ialah $11 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ dan suhu lingkungan 30°C . Hitunglah suhu plat pada keadaan seimbang.

JAWAB:

1-07 Suatu lapisan yang terbuat dari asbes yang ditetal longgar (*loosely packed*) setebal 5 cm ditaruh di antara dua plat yang masing-masing suhunya 100°C dan 200°C. Hitunglah perpindahan panas melalui lapisan itu.

JAWAB:

Tabel A-2 memberikan nilai konduktivitas termal asbes, $k = 0,161 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

$$\frac{(\dot{Q}_{kond})}{(A)} = \frac{(\Delta T)(k)}{L} = \frac{(100) ^\circ\text{C} (0,161 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}})}{0,05 \text{ m}} = 322 \text{ W/m}^2$$

1-08 Sebuah dinding setebal 0,3 m memiliki konduktivitas termal $k = 0,9 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$. Tinggi dinding adalah 3 m dan lebarnya adalah 5 m. Tentukan laju kehilangan panas melalui dinding pada suatu hari di mana suhu permukaan dinding masing-masing adalah 16 °C dan 2 °C.

JAWAB:

BAB 2

KONDUKSI MELALUI SISTEM LAPIS TUNGGAL

RINGKASAN

Konduksi steady satu dimensi pada sistem lapis tunggal dapat diringkaskan dalam tabel berikut.

	Bidang Datar	Silinder	Bola
Persamaan diferensial	$\frac{d^2T}{dx^2} = 0$	$\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) = 0$	$\frac{d}{dr} \left(r^2 \frac{dT}{dr} \right) = 0$
Laju perpindahan panas	$\dot{Q} = \frac{kA}{L} (T_1 - T_2)$	$\dot{Q} = \frac{2\pi kL}{\ln(r_o/r_i)} (T_i - T_o)$	$\dot{Q} = \frac{4\pi k r_i r_o}{r_o - r_i} (T_i - T_o)$
Fluks panas	$\dot{q} = \frac{k}{L} (T_1 - T_2)$	$\dot{q} = \frac{k(T_i - T_o)}{r \ln(r_o/r_i)}$	$\dot{q} = \frac{k(T_i - T_o)}{r^2 [(1/r_i) - (1/r_o)]}$
Tahanan termal	$R_{th,pw} = \frac{L}{kA}$	$R_{th,sil} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL}$	$R_{th,bola} = \frac{(r_o - r_i)}{4\pi k r_i r_o}$
Distribusi suhu	$T_x = T_1 - \Delta T \left(\frac{x}{L} \right)$	$T_r = T_o + \Delta T \left(\frac{\ln(r/r_o)}{\ln(r_i/r_o)} \right)$	$T_r = T_i - \Delta T \left(\frac{1 - (r_i/r)}{1 - (r_i/r_o)} \right)$

LEMBAR KERJA

2-01 Sebuah dinding tembok dengan konduktivitas termal $k = 0,8 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$ berukuran tinggi 4 m, lebar 6 m, dan tebal 0,3 m. Pada suatu hari, suhu permukaan dinding-dalam dan dinding-luar berturut-turut adalah 14°C dan 6°C . Tentukan laju kehilangan panas melalui dinding tersebut pada hari itu. **$J: 512 \text{ W}$**

JAWAB:

2-02 Sebuah jendela kaca memiliki ukuran tinggi 1,2 m dan lebar 2 m. Tebal kaca jendela adalah 6 mm dengan konduktivitas termal $k = 0,78 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Tentukan laju perpindahan panas steady melalui kaca jendela jika suhu permukaan-dalam dipertahankan pada 24°C dan permukaan-luar pada $19,2^\circ\text{C}$. **$J: 114 \text{ W}$**

JAWAB:

2-03 Suatu beda suhu 85°C terjadi melintas lapisan fiberglass setebal 13 cm. Konduktivitas termal fiberglass adalah $0,035 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Hitunglah perpindahan panas melalui material ini per jam per satuan luas. **$J: 28,1 \text{ W}$**

JAWAB:

2-04 Suatu bahan isolasi memiliki konduktivitas termal $10 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Berapakah ketebalan yang diperlukan untuk menghasilkan penurunan suhu 500°C untuk aliran panas 400 W/m^2 ? **$J: 12,5 \text{ W}$**

JAWAB:

2-05 Seseorang yang memiliki luas permukaan $1,7 \text{ m}^2$ sedang berdiri di dalam suatu ruangan yang bersuhu 20°C . Suhu di dalam badan orang itu adalah 37°C , dan konduktivitas termal jaringan di dekat kulit adalah $0,3 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Tubuh orang itu kehilangan panas dengan laju 150 W melalui konveksi alami dan radiasi ke lingkungan. Jika suhu badan pada kedalaman $0,5 \text{ cm}$ dari kulit adalah 37°C , tentukan suhu permukaan kulit tubuh orang itu. *Jawab: 35.5°C .*

JAWAB:

2-06 Suatu bahan isolasi super (*superinsulation*) mempunyai konduktivitas termal $2 \times 10^{-4} \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}$. Bahan ini digunakan untuk mengisolasi tangki nitrogen cair yang suhunya dijaga -196°C . Pada suhu ini diperlukan 199 kJ untuk menguapkan satu kilogram massa nitrogen. Jika tangki berbentuk bola, dengan diameter dalam $0,52 \text{ m}$, perkirakanlah jumlah nitrogen yang menguap per hari jika tebal isolasi $2,5 \text{ cm}$ dan suhu lingkungan 21°C . Anggaplah suhu permukaan-luar isolasi adalah 21°C . *J: $0,690 \text{ kg}$*

JAWAB:

2-07 Sebuah plat baja yang tebalnya 6 mm dan konduktivitas panas $44 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ menerima fluks panas radiasi sebesar $4,73 \text{ kW/m}^2$ dalam ruang hampa. Dalam situasi ini perpindahan panas konveksi dapat diabaikan. Andaikan suhu muka plat yang terkena radiasi dipertahankan 40°C , berapakah suhu muka yang satu lagi jika seluruh energi radiasi yang diterima plat itu dipindahkan melintasi plat dengan cara konduksi?

JAWAB:

2-08 Sebuah pipa baja sepanjang 10 m memiliki diameter-dalam 2,34 cm dan diameter-luar 2,74 cm. Suhu permukaan-dalam pipa adalah 50°C dan suhu permukaan-luar pipa adalah 48°C . Hitunglah laju kehilangan panas melalui pipa dan fluks panas di permukaan-luar pipa.

JAWAB: