

PERPINDAHAN PANAS 1

Konsep dan Penerapannya

NELY ANA MUFARIDA

PERPINDAHAN PANAS 1

“Konsep dan Penerapannya”

**Undang-Undang Republik Indonesia
Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta**

Lingkup Hak Cipta

Pasal 8:

Hak ekonomi merupakan hak eksklusif Pencipta atau Pemegang Hak Cipta untuk mendapatkan manfaat ekonomi atau Ciptaan

Pasal 9:

- (1) Pencipta atau Pemegang Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 8 memiliki hak ekonomi untuk melakukan:
 - a. Penerbitan Ciptaan;
 - b. Penggandaan Ciptaan dalam segala bentuknya;
 - c. Penerjemahan Ciptaan;
 - d. Pengadaptasian, pengaransemenan, atau pentransformasian Ciptaan;
 - e. Pendistribusian Ciptaan atau salinannya;
 - f. Pertunjukan Ciptaan;
 - g. Pengumuman Ciptaan;
 - h. Komunikasi Ciptaan;
 - i. Penyewaan Ciptaan.
- (2) Setiap Orang yang melaksanakan hak ekonomi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) wajib mendapatkan izin Pencipta atau Pemegang Hak Cipta.
- (3) Setiap Orang yang tanpa izin Pencipta atau Pemegang Hak Cipta dilarang melakukan Penggandaan dan/atau Penggunaan Secara Komersial Ciptaan.

Ketentuan Pidana

Pasal 113:

- (1) Setiap Orang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau Pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau Pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

NELY ANA MUFARIDA

PERPINDAHAN PANAS 1

“Konsep dan Penerapannya”



2019

Perpindahan Panas 1: Konsep dan Penerapannya

Copyright © Juni 2019 Nely Ana Mufarida
All rights reserved

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang. Pertama kali diterbitkan di Indonesia dalam bahasa Indonesia oleh Pustaka Abadi. Hak moral atas buku ini dimiliki oleh Penulis. Hak ekonomi atas buku ini dimiliki oleh Penulis dan Penerbit sesuai dengan perjanjian. Dilarang mengutip atau memperbanyak baik sebagian atau keseluruhan isi buku dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Penulis

Nely Ana Mufarida

Pemeriksa Aksara: Fonitri Oktavia Pribadi
Desain Sampul dan Tata Letak: Triana Novitasari

14,8 x 20 cm ; ix, 92 hlm;
ISBN 978-602-5570-59-9

Diterbitkan Oleh:

CV. Pustaka Abadi

Anggota IKAPI No. 185/JTI/2017

Kantor 1, Perum ITB Cluster Majapahit Blok P No. 2, Jember, Jawa Timur, 68132

Kantor 2, Jl. Jawa 2, D-1, Jember, Jawa Timur, 68121

Email: redaksi@pustakaabadi.co.id

Website: www.pustakaabadi.co.id

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan kehendak-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan buku ini, dengan judul *Perpindahan Panas 1 “Konsep dan Penerapan Pada Mesin Spray Dryer”*.

Dengan selesainya buku ini, penulis sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung, yang telah banyak membantu dalam penyusunan dan penyelesaian laporan penelitian ini. Mudah-mudahan segala amal yang diberikan mendapat balasan dari Allah SWT, Amin.

Penulis menyadari bahwa buku ini tidak luput dari kekurangan, baik isi maupun penyajiannya. Untuk itu koreksi dan saran sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan buku ajar ini. Penulis berharap, semoga buku ajar ini dapat bermanfaat bagi para pembaca.

Jember, Juni 2019

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vi
Daftar Tabel	vii
Daftar Gambar	viii
BAB 1. Pendahuluan	
Pengantar Perpindahan Panas	1
BAB 2. Pertukaran Panas	19
BAB 3. Konveksi	24
BAB 4. Konsep <i>Spray Dryer</i>	27
BAB 5. Aplikasi <i>Spray Dryer</i> (Produk Minuman Instan)	42
BAB 6. Penerapan Pada Diversifikasi Produk Kopi Instan Dengan Mesin <i>Spray Dryer</i>	44
BAB 7. Teknologi Tepat Guna <i>Spray Dryer</i>	50
BAB 8. Hasil dan Luaran yang Dicapai	53
Daftar Pustaka	75
Indeks	81

Daftar Tabel

Tabel 1. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0°C	9
Tabel 2. Nilai Kira-Kira Koefisien Perpindahan-Kalor Konveksi	15
Tabel 3. Jadwal Pelaksanaan PKM 2017	55
Tabel 4. Peralatan, Bahan dan Tahapan Pengujian Formula	62

Daftar Gambar

Gambar 1. Bagan yang Menunjukkan Arah Aliran Kalor	3
Gambar 2. Volume Satuan untuk Analisis Konduksi Kalor Satu Dimensi	5
Gambar 3. Volume Unsur untuk Analisis Konduksi-Kalor Tiga-Dimensi: (a) Koordinat Kartesius; (b) Koordinat Silindris; dan (c) Koordinat Sferis	8
Gambar 4. Konduktivitas Termal Beberapa Gas [$1\text{W/m}\cdot^\circ\text{C} = 0,5779\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$]	11
Gambar 5. Konduktivitas Termal Beberapa Zat Cair	12
Gambar 6. Konduktivitas Termal Beberapa Zat Padat	13
Gambar 7. Perpindahan Kalor Konveksi dari Sebuah Pelat.....	14
Gambar 8. Arah Aliran antara <i>Droplets</i> dan Udara Pengering	30
Gambar 9. Diagram Alur Proses Pembuatan Bahan (Larutan)	33

Gambar 10. Konsep Perancangan <i>Spray Dryer</i>	34
Gambar 11. Rancangan Struktural <i>Spray Dryer</i>	40
Gambar 12. (a) Tanaman Kopi LMDH Wana Asri, dan (b) Tempat Usaha Kopi Bubuk Kelompok Tani Kopi Raung	46
Gambar 13. Koordinasi Awal Tim Pelaksana PKM	54
Gambar 14. Koordinasi Tim Pelaksana PKM, La- boran dan Mahasiswa	55
Gambar 15. (a) Proses pembuatan, dan (b) <i>Setting</i> Komponen Mesin <i>Spray Dryer</i>	59
Gambar 16. (a) dan (b) Proses Pengujian Unit Mesin <i>Spray Dryer</i>	61
Gambar 17. Daftar Bahan Starter, Bahan Kopi, Bahan Penunjang	46
Gambar 18. Pembuatan Cairan Starter dan Cairan Utama Kopi	69
Gambar 19. Pencampuran Cairan dan Produksi Butiran Bubuk Kopi Instan	69
Gambar 20. Bubuk Kopi Instan	70
Gambar 21. (a) Mesin <i>Spray Dryer</i> (2 Heater), dan (b) Bubuk Kopi Instan	72
Gambar 22. Bubuk Kopi Instan (Dalam Kemasan Plastik)	72
Gambar 23. Kegiatan Sosialisasi Diversifikasi Kopi Instan	74
Gambar 24. Kegiatan Sosialisasi Manfaat Kopi Bagi Kesehatan	72

BAB 1

Pendahuluan

Pengantar Perpindahan Panas

1.1 Tujuan Pembelajaran Umum

Mahasiswa memahami dasar-dasar perpindahan panas untuk perhitungan penukar kalor.

1.2 Tujuan Pembelajaran Khusus

Mahasiswa mampu:

1. Menjelaskan hubungan termodinamika dan perpindahan panas serta prinsip dasar mekanisme perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi.
2. Menjelaskan sifat-sifat bahan dalam perpindahan panas.
3. Menjelaskan besaran dan satuan perpindahan panas.
4. Menjelaskan analogi panas kalor dan listrik.
5. Menjelaskan material-material penghantar dan isolator (penyekat panas).

1.3 Konsep Dasar Perpindahan Panas

Ilmu perpindahan panas diperlukan untuk menganalisa proses perpindahan panas dari suatu benda lain atau dari suatu bagian benda ke bagian benda lainnya.

Walaupun di dalam termodinamika, perpindahan energi dalam bentuk panas telah dipelajari, tetapi ilmu termodinamika tidak mampu memberikan suatu keterangan tentang cara berlangsungnya proses tersebut, lama waktu perpindahan panas dan perubahan-perubahan temperatur yang terjadi di dalam sistem.

Termodinamika hanya membahas berdasarkan keadaan awal dan keadaan akhir dari proses di mana perpindahan energi dalam bentuk panas dipandang sebagai selisih antara energi yang dimiliki sistem pada keadaan awal dan akhir proses tersebut, dengan balans energi.

Pada dasarnya, perpindahan panas terjadi akibat adanya ketidakseimbangan (adanya perbedaan temperatur) termal. Proses perpindahan panas yang sebenarnya terjadi adalah sangat rumit dan memerlukan pengkajian yang cukup sulit.

Oleh karena itu, dilakukan berbagai cara penyederhanaan dalam peninjauan proses tersebut yaitu dengan jalan memperhatikan hal-hal yang kurang berpengaruh terhadap proses keseluruhan. Dengan dasar penyederhanaan tersebut, mekanisme perpindahan panas dapat dibedakan atas tiga jenis yaitu: **konveksi, konduksi dan radiasi.**

1.4 Perpindahan Kalor Konduksi

Jika ada perbedaan temperatur pada suatu benda, akan ada perpindahan energi dari suhu tinggi ke suhu rendah, perpindahan energi ini disebut **konduksi**. Laju perpindahan kalor konduksi:

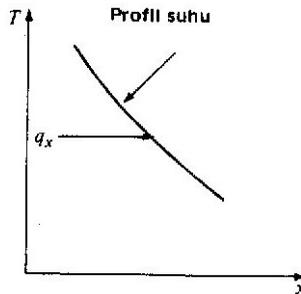
$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

Di mana: q = laju perpindahan kalor, watt

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradien suhu pada arah aliran kalor

K = konduktivitas termal bahan, watt/m. $^{\circ}$ C

Tanda negatif pada persamaan di atas diberikan supaya memenuhi hukum termodinamika, yaitu kalor mesti mengalir ke suhu yang lebih rendah seperti ditunjukkan gambar di bawah ini:



Gambar 1. Bagan yang Menunjukkan Arah Aliran Kalor

Perhatikan gambar di atas! Jika sistem berada dalam kondisi stedi (tunak) yaitu temperatur tidak berubah terhadap waktu, kita hanya perlu mengintegrasikan persamaan di atas. Jika terjadi perubahan suhu terhadap

waktu, penyelesaian persamaan di atas akan lebih kompleks.

Untuk elemen dengan ketebalan dx , keseimbangan energinya adalah:

Energi konduksi masuk dari kiri + kalor yang dibangkitkan dari elemen = Perubahan energi dalam + energi konduksi keluar di sebelah kanan.

$$\text{Energi masuk pada sisi kiri: } q_x = -kA \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\text{Energi yang dibangkitkan elemen} = qA dx$$

$$\text{Perubahan energi dalam} = \rho c A \frac{\partial T}{\partial \tau} dx$$

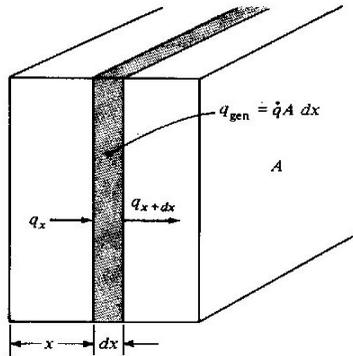
$$\begin{aligned} \text{Energi keluar sisi kanan} &= q_{x+dx} = -kA \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x+dx} \\ &= -A \left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] \end{aligned}$$

Di mana: q = energi yang dihasilkan per satuan volume, W/m^3

c = kalor spesifik bahan

ρ = kerapatan, kg/m^3

t = waktu



Gambar 2. Volume Satuan untuk Analisis Konduksi Kalor Satu Dimensi

Dengan menggabungkan persamaan-persamaan di atas diperoleh:

$$-kA \frac{\partial T}{\partial x} + \dot{q} A dx = \rho A dx \frac{\partial T}{\partial \tau} - A \left[k \frac{\partial T}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right]$$

atau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Ini merupakan persamaan konduksi kalor satu dimensi. Untuk kondisi lebih dari satu dimensi, keseimbangan energi adalah:

$$q_x + q_y + q_z + q_{gen} = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} + dE/d\tau$$

Dan jumlah energi diberikan oleh:

$$\begin{aligned}
 q_x &= -kdydz \frac{\partial T}{\partial x} \\
 q_{x+dx} &= -\left[k \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] dydz \\
 q_y &= -kdx dz \frac{\partial T}{\partial y} \\
 q_{y+dy} &= -\left[k \frac{\partial T}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) dy \right] dx dz \\
 q_z &= -kdx dy z \frac{\partial T}{\partial z} \\
 q_{z+dz} &= -\left[k \frac{\partial T}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) dz \right] dx dy \\
 q_{gen} &= \dot{q} dx dy dz \\
 \frac{dE}{d\tau} &= \rho c dx dy dz \frac{\partial T}{\partial \tau}
 \end{aligned}$$

Sehingga secara umum persamaan kalor konduksi tiga dimensi adalah:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Untuk konduktivitas termal konstan, persamaan (1.3) bisa ditulis:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Di mana:

$a = k/\rho c$ disebut difusitas termal bahan. Makin besar harga a , makin cepat kalor berdifusi ke bahan. Difusivitas termal mempunyai satuan $m^2/detik$.

Persamaan di atas bisa diubah ke dalam koordinat silinder atau bola menjadi:

Koordinat silinder:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Koordinat bola:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial^2}{\partial r^2} (rT) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial \tau}$$

Kondisi-kondisi khusus:

1. Aliran kalor satu dimensi kondisi stedi (tanpa pembangkitan panas):

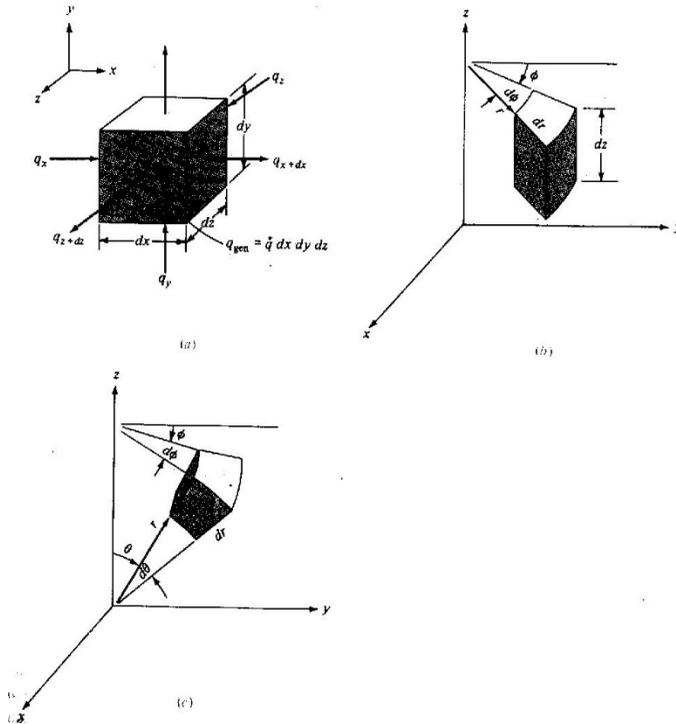
$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0$$

2. Aliran kalor pada koordinat silinder satu dimensi kondisi stedi (tanpa pembangkitan panas):

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0$$

3. Aliran kalor satu dimensi kondisi stedi dengan pembangkitan kalor:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} + \frac{q}{k} = 0$$



Gambar 3. Volume Unsuran untuk Analisis Konduksi-Kalor Tiga-Dimensi: (a) Koordinat Kartesius; (b) Koordinat Silindris; dan (c) Koordinat Sferis

4. Konduksi kondisi stedi dua dimensi dengan pembangkitan kalor:

$$\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{\partial^2T}{\partial y^2} = 0$$

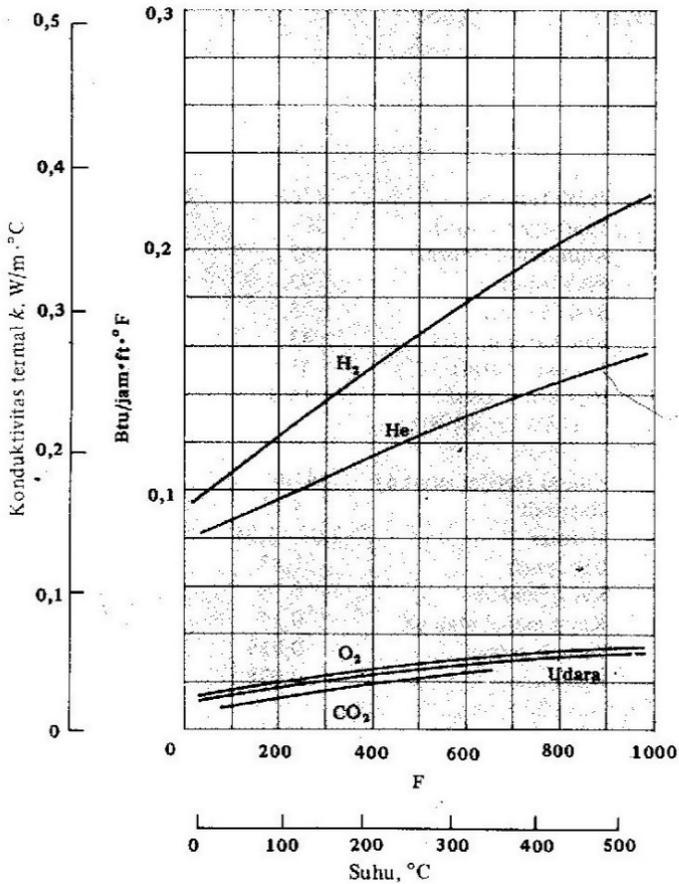
1.5 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal ditentukan dari eksperimen. Harga-harga konduktivitas untuk beberapa material ditunjukkan pada tabel 1. Umumnya, konduktivitas termal sangat dipengaruhi oleh suhu.

Tabel 1. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0°C

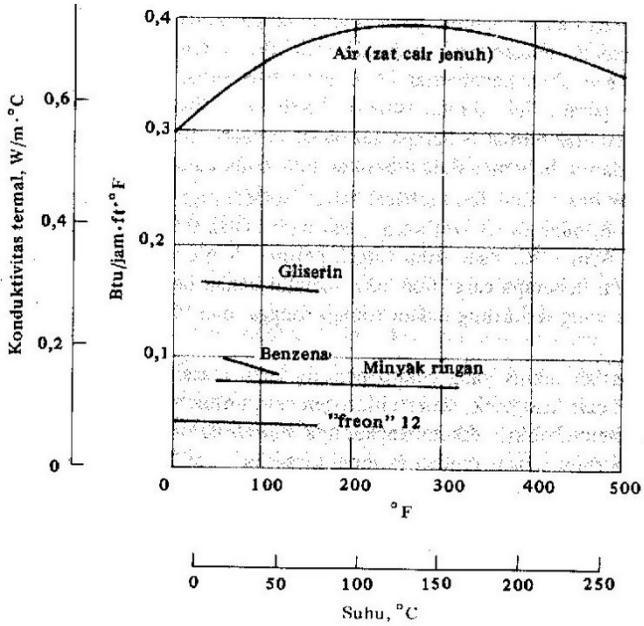
Bahan	Konduktivitas Termal (k)	
	W/m . °C	Btu/h . ft . °F
Logam		
Perak (murni)	410	237
Tembaga (murni)	385	223
Aluminium (murni)	202	117
Nikel (murni)	93	54
Besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
Baja krom-nikel (18% Cr, 8% Ni)	16,3	9,4
Bukan Logam	41,6	24
Kuarsa (sejajar sumbu)		
Magnesit	4,15	2,4
Marmar	2,08 – 2,94	1,2 – 1,7
Batu pasir	1,83	1,06
Kaca, jendela	0,78	0,45
Kayu maple atau ek	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022

Bahan	Konduktivitas Termal (k)	
	W/m . °C	Btu/h . ft . °F
Zat Cair		
Air-raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312
Minyak lumas, SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, CCl ₂ F ₂	0,073	0,042
Gas		
Hidrogen	0,175	0,101
Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon Dioksida	0,0146	0,00844

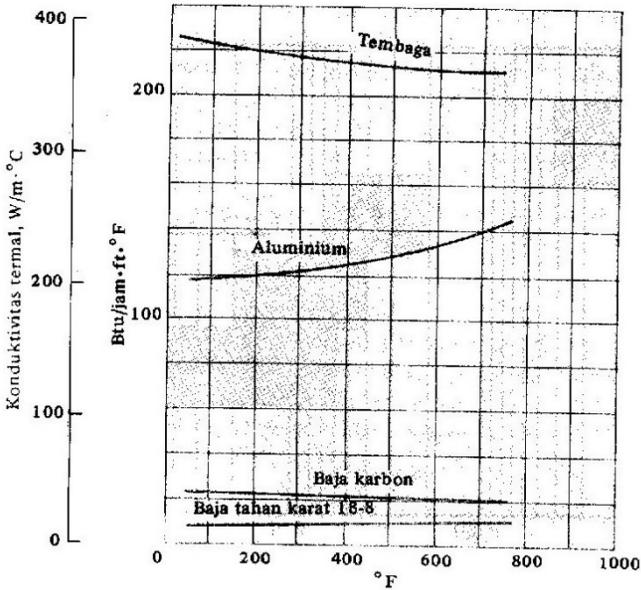


Gambar 4. Konduktivitas Termal Beberapa Gas
 [1 W/m.°C = 0,5779 Btu/h.ft.°F]

Konduktivitas termal untuk gas-gas yang umum ditunjukkan oleh gambar di atas.



Gambar 5. Konduktivitas Termal Beberapa Zat Cair



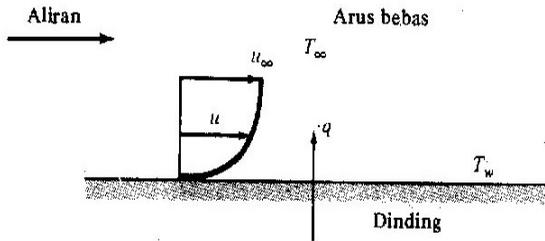
Gambar 6. Konduktivitas Termal Beberapa Zat Padat

Sedangkan gambar di atas menunjukkan konduktivitas termal untuk zat cair yang umum dan konduktivitas beberapa bahan padat yang umum.

1.6 Perpindahan Kalor Konveksi

Sebuah pelat logam panas akan cepat menjadi dingin apabila ditempatkan di depan sebuah kipas angin dibandingkan jika hanya dibiarkan di udara diam. Kita sebut bahwa kalor di konveksi keluar dan kita sebut prosesnya *perpindahan kalor konveksi*. Misalkan, sebuah pelat dipanaskan seperti gambar di bawah ini.

Suhu pelat adalah T_w dan suhu fluida T_∞ , kecepatan aliran terlihat pada gambar. Kecepatan aliran berkurang sampai nol pada pelat karena efek gaya viskos. Karena kecepatan lapisan fluida pada dinding nol, kalor hanya ditransfer dengan cara konduksi pada titik ini. Karena itu kita bisa menggunakan persamaan konduktivitas termal fluida dan *gradien temperature fluida* pada dinding. Namun, kita tetap menyebutnya konveksi karena gradien temperatur bergantung atas laju fluida dalam mengambil kalor.



Gambar 7. Perpindahan Kalor Konveksi dari Sebuah Pelat

Efek keseluruhan konveksi, dirumuskan dengan Hukum Newton tentang pendinginan:

$$q = hA(T_w - T_\infty)$$

Pada persamaan ini, laju perpindahan kalor dikaitkan dengan perbedaan temperatur menyeluruh antara dinding dan fluida serta luas permukaan. Besaran h disebut *koefisien perpindahan kalor konveksi*. Untuk kondisi kompleks, harga h ditentukan secara eksperimen. Koefisien perpindahan kalor kadang-

kadang disebut juga *konduktansi film*. Satuan h adalah watt per meter kuadrat per derajat Celsius, jika aliran kalor dalam watt.

Tabel 2. Nilai Kira-Kira Koefisien Perpindahan-Kalor Konveksi

Modus	h	
	W/m ² · °C	Btu/h · ft ² · °F
Konveksi bebas, ΔT = 30°C		
1. Plat vertikal, tinggi 0,3 m (1 ft) di udara	4,5	0,79
2. Silinder horizontal, diameter 5 cm di udara	6,5	1,14
3. Silinder horizontal, diameter 2 cm, dalam air	890	157
Konveksi paksa		
1. Aliran udara 2 m/s di atas plat bujur sangkar 0,2m	12	2,1
2. Aliran udara 35 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	75	13,2
3. Udara 2 atm mengalir di dalam tabung diameter 2,5 cm, kecepatan 10 m/s	65	11,4

Modus	h	
	W/m ² · °C	Btu/h · ft ² · °F
4. Air 0,5 kg/s mengalir di dalam tabung 2,5 cm	3500	616
5. Aliran udara <i>melintas</i> silinder diameter 5 cm, kecepatan 50 m/s	180	32
6. Air mendidih		
a. Dalam kolam atau bejana	2500–35.000	440–6200
b. Mengalir dalam pipa	5000–100.000	880–17.600
7. Pengembunan uap air, 1 atm		
a. Muka vertikal	4000–11.300	700–2000
b. Di luar tabung horisontal	9500–25.000	1700–4400

1.7 Perpindahan Kalor Radiasi

Berbeda dengan perpindahan kalor konduksi dan konveksi, di mana perpindahan energi terjadi melalui media, kalor juga bisa dipindahkan melalui ruang vakum. Mekanisme ini disebut radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik yang dihasilkan oleh perbedaan temperatur disebut *radiasi termal*.

Dalam termodinamika, pembangkit panas ideal atau *benda hitam* akan memancarkan energi sebanding

dengan pangkat empat suhu mutlak benda dan berbanding lurus dengan luas permukaan, atau:

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4$$

Di mana: s = konstanta proporsional atau konstanta Stefan-Boltzmann

$$= 5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{.K}^4.$$

Energi radiasi bisa juga dirumuskan dengan:

$$q = F\varepsilon F_G \sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

Di mana: $F\varepsilon$ = fungsi emisivitas

F_G = fungsi faktor pandang geometri

Contoh Soal 1:

Satu permukaan pelat tembaga yang tebalnya 3 cm, dijaga suhunya pada 500°C, dan permukaan satu lagi pada 200°C. Berapa banyak kalor yang dipindahkan pada pelat? Konduktivitas termal tembaga adalah 370 W/m.°C pada 250°C.

Jawab:

Dari hukum Fourier:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx}$$

Dengan integrasi didapat:

$$\begin{aligned} \frac{q}{A} &= -k \frac{dT}{dx} = \frac{-(370)(200 - 500)}{3 \times 10^{-2}} \\ &= 3,7 \text{ MW/m}^2 [1,172 \times 10^6 \text{ Btu/h.ft}^2] \end{aligned}$$

Contoh soal 2:

Udara dengan suhu 30°C meniup pelat panas ukuran 60x80 cm yang dijaga suhunya pada 300°C. Koefisien perpindahan kalor konveksi adalah 25 W/m².°C. Hitunglah perpindahan kalor!

Jawab:

$$\begin{aligned}q &= hA (T_w - T_{\infty}) \\ &= (25)(0,60)(0,80)(300 - 30) \\ &= 3,240 \text{ kW}\end{aligned}$$

Contoh Soal 3:

Misalkan, pelat pada contoh soal 2 terbuat dari baja karbon (1%) tebal 2 cm dan 300 W hilang dari permukaan karena radiasi, hitunglah temperatur pelat bagian dalam!

Jawab:

Kalor yang dikonduksikan melalui pelat harus sama dengan jumlah kalor hilang karena konveksi dan radiasi.

$$\begin{aligned}q_{kond} &= q_{konv} + q_{rad} \\ -kA \Delta T / \Delta x &= 3,240 + 0,3 = 3240,3 \text{ kW} \\ \Delta T &= \frac{(-3240,3)(0,02)}{(0,60)(0,80)(43)} = -3,14^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

harga k diambil dari tabel 1. Temperatur dalam pelat didapat:

$$T_i = 300 + 3,14 = 303,14 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

BAB 2

Pertukaran Panas

2.1 Pengertian Perpindahan Panas

Panas telah diketahui dapat berpindah dari tempat dengan temperatur lebih tinggi ke tempat dengan temperatur lebih rendah. Hukum percampuran panas juga terjadi karena panas itu berpindah, sedangkan pada kalorimeter, perpindahan panas dapat terjadi dalam bentuk pertukaran panas dengan luar sistem.

Jadi, pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat ke atau dari bagian lain benda atau tempat lain. Peristiwa ini disebut *perpindahan panas*.

Menurut penyelidikan, perpindahan tenaga panas dapat dibagi dalam beberapa golongan cara perpindahan. Panas itu dapat merambat dari suatu bagian ke bagian lain melalui zat atau benda yang diam. Panas juga dapat dibawa oleh partikel-partikel zat yang mengalir. Pada radiasi panas, tenaga panas berpindah melalui pancaran yang merupakan juga satu cara

perindahan panas. Umumnya perindahan panas berlangsung sekaligus dengan ketiga cara ini.

Perpindahan panas melalui cara pertama disebut perpindahan panas melalui konduksi. Cara kedua, perindahan panas melalui konveksi dan cara ketiga melalui radiasi.

Di sini kita menyelidiki peristiwa berlangsungnya perpindahan panas itu. Kalau kita menganggap perpindahan panas berlangsung secara mengalir analogi dengan aliran listrik atau aliran fluida, maka aliran panas ini kita namakan *arus panas*.

Kita definisikan arus panas ini sebagai jumlah tenaga panas per satuan waktu atau daya panas melalui penampang tegak lurus kepada arah arus. Oleh sebab itu, arus panas rata-rata adalah:

$$\bar{H} = \frac{\Delta Q}{\Delta \tau}$$

dengan $\Delta \tau$ sebagai waktu perpindahan panas yang dipandang.

Karena arus panas dapat berubah-ubah menurut waktu, arus panas pada setiap saat adalah:

$$H = \lim_{\Delta \tau \rightarrow 0} \frac{\Delta Q}{\Delta \tau} = \frac{dQ}{d\tau}$$

Perpindahan panas dapat kita ketahui melalui perubahan temperatur. Oleh karenanya, perlu ditentukan hubungan antara arus panas dan perubahan atau perbedaan temperatur.

Bagi kalorimeter yang mengalami pertukaran panas dengan luar sistem, akibat perpindahan panas, Newton memberikan suatu koreksi yang dikenal sebagai hukum pendinginan atau pemanasan Newton.

2.2 Hukum Pendingin atau Pemanasan Newton

Perubahan temperatur akibat pertukaran panas seperti pada kalorimeter menurut Newton pada tahun 1701, adalah berbanding lurus dengan waktu. Bila temperatur sistem lebih tinggi daripada temperatur sekitarnya, maka akan terjadi pendinginan pada sistem atau penurunan temperatur dan demikian pun sebaliknya. Perbandingan ini dapat dijadikan persamaan dengan membubuhi suatu faktor konstanta k , sehingga:

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = -k(t - t_s)$$

dengan t dan t_s masing-masing merupakan temperatur sistem dan temperatur sekitarnya.

Tanda negatif menunjukkan terjadinya penurunan temperatur bila $t > t_s$. Karena perubahan temperatur ini dapat berbeda menurut waktu, perubahan temperatur setiap saat adalah:

$$\frac{dt}{d\tau} = -k(t - t_s)$$

atau dapat juga ditulis:

$$\frac{dt}{t - t_s} = -k d\tau$$

sehingga setelah diintegrasikan diperoleh temperatur sistem setelah waktu τ , sebesar:

$$\ln(t - t_s) = -k\tau + C$$

Jika temperatur pada waktu $\tau = 0$ adalah t_0 , konstanta integrasi C dapat ditentukan, sehingga diperoleh:

$$\ln \frac{t - t_s}{t_0 - t_s} = -k\tau$$

Atau:

$$t = t_0 + (t_0 - t_s)e^{-k\tau}$$

Apabila perbedaan temperatur sistem dan sekitarnya kecil, dengan sendirinya perubahan temperatur pada sistem adalah kecil juga karena perubahan temperatur maksimum dari sistem adalah menyamai temperatur sekitarnya. Oleh sebab itu, dalam hal ini nampak bahwa $k\tau$ akan kecil juga harganya. Untuk $k\tau \ll 1$ dapat diadakan pendekatan dengan menguraikan dulu ke dalam deret:

$$t = t_0 + (t_0 - t_s) \left\{ 1 - k\tau + \frac{(k\tau)^2}{2!} - \frac{(k\tau)^3}{3!} + \dots \right\}$$

Dengan mengabaikan $k\tau$ faktor k , dengan pangkat dua dan lebih, pendekatan ini menjadi:

$$t = t_0 - (t_0 - t_s)k\tau$$

atau perubahan temperatur sistem selama waktu τ adalah kira-kira:

$$t - t_0 = -(t_0 - t_s)k\tau$$

Bagi $t_o > t_s$ terjadi pendinginan, yakni penurunan temperatur sistem dan bagi $t_o < t_s$ terjadi pemanasan atau kenaikan temperatur. Jadi untuk perbedaan temperatur sistem dan sekitarnya yang kecil, dapat dipergunakan sebagai suku koreksi. Suku koreksi ini dapat dipergunakan misalnya untuk koreksi temperatur pada kalorimeter.

BAB 3

Konveksi

3.1 Konveksi Bebas

Konveksi panas terjadi karena partikel zat yang bertemperatur lebih tinggi berpindah tempat secara mengalir, sehingga dengan sendirinya terjadi perindahan panas melalui perpindahan massa. Oleh sebab itu, penyelidikan tentang konveksi panas perlu didahului oleh dan berhubungan sangat erat dengan arus zat atau arus fluida.

Aliran zat atau fluida dapat berlangsung sendiri sebagai akibat perbedaan massa jenis karena perbedaan temperatur, dan dapat juga sebagai akibat paksaan melalui pompa kompresor, sehingga kita mengenal aliran zat atau fluida bebas dan paksaan. Konveksi panas pada aliran bebas disebut *konveksi bebas* dan pada aliran paksaan disebut *konveksi paksaan*. Pada konveksi paksaan, sifat konveksi tentu bergantung kepada bentuk dan cara paksaan itu.

Bergantung kepada kecepatan aliran dan bentuk saluran, kita mengenal aliran yang disebut *aliran laminar*

atau *stream-line* dan *aliran turbulen*. Aliran laminar terjadi pada arus berkecepatan kecil, sehingga partikel zat bergerak menurut garis yang kira-kira sejajar, berbentuk lengkungan kontinu yang mengikuti bentuk saluran. Hal ini dapat diselidiki dengan membubuhi zat warna pada aliran itu. Pada kecepatan aliran yang besar, partikel zat bergerak secara bergolak dan kita peroleh aliran turbulen. Batas kedua jenis aliran ini tidak tajam dan jelas serta penentu jenis aliran dilakukan menurut rumus empiris.

Konveksi panas pada kedua jenis aliran ini berbeda. Konveksi panas pada aliran massa ini dapat juga dipandang sebagai arus panas yang selain bergantung kepada aliran, juga pada luas penampang A , dan pada beda temperatur Δt , yakni:

$$H = h A \Delta t$$

dengan h sebagai koefisien konveksi panas. Dalam hal ini kita hanya akan menyinggung sedikit tentang konveksi bebas.

3.2 Beberapa Contoh Konveksi Bebas

Konveksi bebas terjadi pada aliran bebas. Untuk mudahnya, kita hanya menyinggung sedikit tentang konveksi bebas bagi aliran udara laminar yang terjadi pada tekanan atmosfer. Koefisien konveksi h dapat ditentukan secara empiris. Ternyata juga bahwa letak keping yang oleh temperaturnya terjadi konveksi panas berarah tegak lurus kepadanya, berhubung dengan pengaruh gravitasi, akan berpengaruh juga pada harga

koefisien konveksi ini. Secara empiris diperoleh beberapa hasil koefisien konveksi pada syarat tersebut di atas, bagi beda temperatur Δt , sebagai berikut:

1. Keping horizontal dengan konveksi panas menghadap ke atas.

$$h = 0,595 \cdot 10^{-4} (\Delta t)^{1/4} \frac{\text{kal}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ detik}}$$

2. Keping horizontal dengan konveksi panas menghadap ke bawah

$$h = 0,314 \cdot 10^{-4} (\Delta t)^{1/4} \frac{\text{kal}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ detik}}$$

3. Keping vertikal

$$h = 0,424 \cdot 10^{-4} (\Delta t)^{1/4} \frac{\text{kal}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ detik}}$$

4. Pipa horizontal atau vertikal dengan diameter D cm,

$$h = 1,00 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\Delta t}{D} \right)^{1/4} \frac{\text{kal}}{\text{cm}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ detik}}$$

Dengan mengetahui koefisien konveksi panas ini, arus panas dapat ditentukan untuk penampang dan beda temperatur yang tertentu pada syarat tersebut di atas.

BAB 4

Konsep *Spray Dryer*

Spray dryer merupakan mesin pengering yang berfungsi untuk menghasilkan produk berbentuk butiran halus (bubuk) dari bahan masukan berupa larutan. *Spray dryer* juga merupakan mesin pemroses produk yang berfungsi untuk mengeringkan bahan dengan metode semprot.

Konsep *spray dryer* pertama kali dipatenkan oleh **Samuel Percy** pada tahun 1872. Konsep tersebut diaplikasikan pertama kali di industri pada produksi susu dan detergen pada tahun 1920-an. *Spray dryer* dirancang menggunakan bahan *full stainless steel* sehingga aman bagi produk. Menggunakan pemanas dengan tenaga listrik yang relatif aman dengan temperatur terkontrol sehingga produk tidak rusak.

Metode mengeringkan *spray drying* merupakan metode pengeringan yang paling banyak digunakan dalam industri makanan dan produk-produk bubuk biasanya menarik bagi konsumen. Mesin ini biasanya untuk pengolahan susu bubuk, sari buah instan, kopi tanpa ampas, maupun pembuatan *creamers*.

Spray dryer merupakan salah satu jenis mesin pengering buatan yang mempunyai keunggulan yaitu proses pengeringan ini relatif singkat jika dibandingkan dengan proses pengeringan yang lain, sehingga membuat proses ini cocok untuk mengeringkan bahan yang sensitif terhadap panas. *Spray dryer* banyak digunakan pada industri pangan karena beberapa produk pangan sangat sensitif terhadap panas.

Keunggulan lainnya adalah proses pengeringan dapat diatur sesuai dengan tingkat kekeringan produk yang diinginkan, kualitas produk dapat dipertahankan (cita rasa, nilai gizi dan warna), kapasitas pengeringan dapat ditentukan, tidak memerlukan tempat yang luas, kondisi pengeringan dapat dikontrol dan kadar air akhir yang dapat dicapai lebih rendah dibandingkan dengan sistem pengeringan lain.

Bagian-bagian *spray dryer* terdiri atas kipas, pemanas, kompresor, tangki bahan, atomiser, ruang pengering, siklon pemisah, botol penampung produk I dan II, dan kerangka penyangga.

Spray dryer merupakan jenis mesin pengering yang efektif, karena adanya perpindahan panas dan massa yang terjadi terus menerus di antara bahan dan udara pengering. Proses pengeringan pada *spray dryer* meliputi empat tahapan dasar yaitu atomisasi bahan (larutan), pencampuran udara pengering dengan *droplets*, pengeringan *droplets*, pemisahan antara produk dengan udara pengering.

4.1 Pencampuran Udara Panas dan *Droplets* pada *Spray Dryer*

Pencampuran antara udara pengering dengan *droplet* merupakan hal yang penting pada rancangan *spray dryer*. Pencampuran ini terjadi karena arah aliran antara *droplet* dan udara pengering. Arah aliran antara *droplets* dan udara pengering terdiri atas:

1. *Co-current flow dryer*

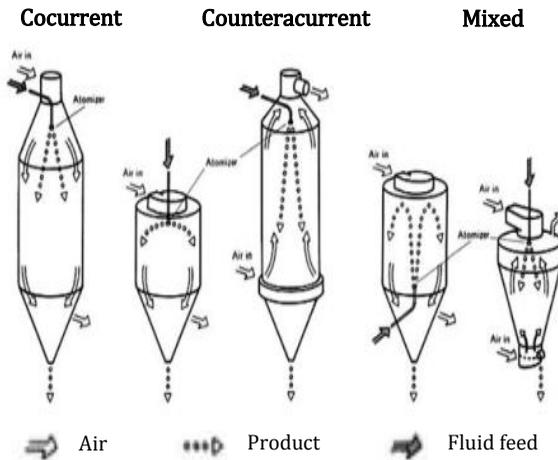
Aliran udara pengering dan *droplets* terjadi dalam satu arah, yaitu udara pengering dialirkan dari atas ruang pengering searah dengan *droplets* yang disemprotkan oleh atomiser. Pada penelitian ini menggunakan konsep perancangan *spray dryer co-current flow dryer*.

2. *Counter-current flow dryer*

Aliran udara pengering dan *droplets* terjadi berlawanan arah, yaitu udara pengering dialirkan dari bawah ruang pengering berlawanan arah dengan *droplets* yang disemprotkan oleh atomiser.

3. *Mixed flow dryer*

Aliran udara pengering masuk melalui bagian atas ruang pengering, sedangkan aliran *droplets* disemprotkan atomiser yang diletakkan di bagian bawah ruang pengering dengan arah ke atas.



Gambar 8. Arah Aliran antara *Droplets* dan Udara Pengereng

Parameter kritis *spray drying* antara lain:

1. Suhu pengereng yang masuk: semakin tinggi suhu udara yang digunakan untuk pengerengan, maka proses penguapan air pada bahan akan semakin cepat, namun suhu yang tinggi memungkinkan terjadinya kerusakan secara fisik maupun kimia pada bahan yang tidak tahan panas.
2. Suhu pengereng yang keluar: suhu pengereng yang keluar mengontrol kadar air bahan hasil pengerengan (bubuk) yang terbentuk.
3. Viskositas bahan (larutan) yang masuk: viskositas bahan yang akan dikeringkan mempengaruhi partikel yang keluar melalui *nozzle*. Viskositas yang rendah menyebabkan kurangnya energi dan

tekanan dalam menghasilkan partikel pada *atomization*.

4. Jumlah padatan terlarut: jumlah padatan terlarut pada bahan yang masuk di atas 30% agar ukuran partikel yang terbentuk tepat.
5. Tegangan permukaan: tegangan permukaan yang tinggi dapat menghambat proses pengeringan, umumnya untuk menurunkan tegangan permukaan dilakukan penambahan emulsifier. Emulsifier juga dapat menyebabkan ukuran partikel yang keluar dari *nozzle* lebih kecil, sehingga mempercepat proses pengeringan.
6. Suhu bahan yang masuk: peningkatan suhu bahan yang akan dikeringkan sebelum memasuki alat akan membawa energi sehingga proses pengeringan akan lebih cepat.
7. Tingkat volatilitas bahan pelarut: bahan pelarut dengan tingkat volatilitas yang tinggi dapat mempercepat proses pengeringan. Namun, dalam praktiknya air menjadi pelarut utama dalam bahan pangan yang dikeringkan.
8. Bahan dasar *nozzle* umumnya terbuat dari *stainless steel* karena tahan karat sehingga aman dalam proses penggunaannya.

Pengeringan ini dilakukan dengan menggunakan alat *spray drying* skala laboratorium (*mini spray dryer*) dengan tipe aliran searah *co-current*. Proses pengeringan metoda *spray drying* dilakukan dengan cara menyemprotkan masa cair (dapat berupa larutan,

emulsi atau suspensi) dengan atau tanpa bahan tambahan pada medium kering yang panas (udara). Pada larutan dengan kandungan gula tinggi, perlu ditambahkan bahan pengisi agar hasil akhirnya berupa serbuk halus yang tidak lengket dan produk tidak akan menempel pada permukaan alat atau terjadi penggumpalan. Melalui kontak panas dari aliran udara kering-panas, cairan yang telah diatomisasi dengan menggunakan roda berputar atau *nozzle* akan menguap dengan cepat dan dihasilkan masa berupa padatan/serbuk. Walaupun proses penguapan memerlukan suhu tinggi, tetapi karena berlangsung secara cepat diharapkan tidak mempengaruhi kualitas produk akhir yang dihasilkan. Kualitas hasil yang diperoleh pada metode *spray drying* dipengaruhi oleh dua hal, yaitu proses selama pengeringan (suhu *inlet*, kecepatan semprot, kondisi tabung, kecepatan aliran udara, dan lain-lain) dan kondisi bahan larutan yang akan dikeringkan (sifat bahan, jenis dan konsentrasi bahan pengisi, dan lain-lain).

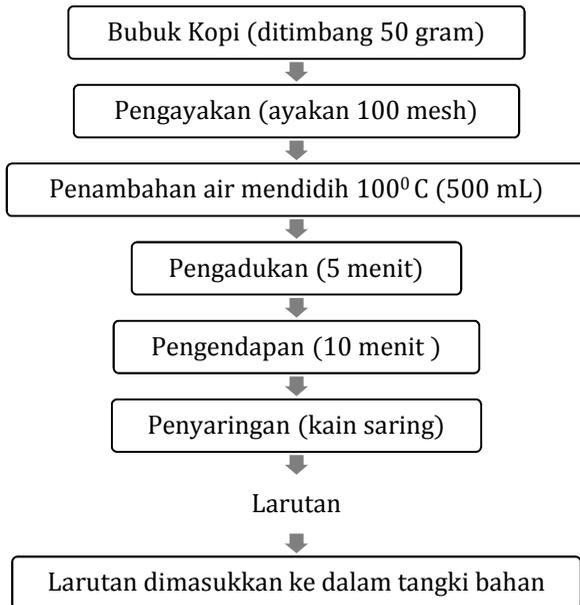
4.2 Bahan Pembuatan Larutan

Penentuan konsentrasi bahan yang akan dikeringkan harus tepat, kandungan bahan terlarut 30% hingga 50%. Jika bahan yang digunakan sangat encer dengan total padatan terlarut yang sangat rendah maka harus dilakukan pemekatan terlebih dahulu melalui proses evaporasi. Jika kadar air bahan yang akan dikeringkan terlalu tinggi, proses *spray drying* kurang maksimal di mana bubuk yang dihasilkan masih

mengandung kadar air yang tinggi. Selain itu juga menyebabkan kebutuhan energi yang tinggi dalam proses pengeringan.

Bahan (terlarut) yang digunakan dalam pembuatan larutan dalam penelitian ini adalah bubuk kopi dari jenis kopi arabika. Bahan (pelarut) yang digunakan dalam pembuatan larutan adalah air.

4.3 Proses Pembuatan Bahan (Larutan)

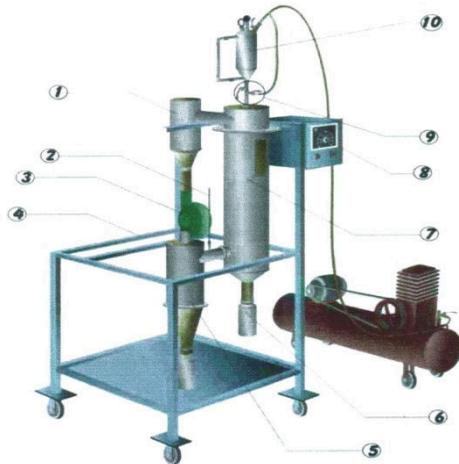


Gambar 9. Diagram Alur Proses Pembuatan Bahan (Larutan)

4.4 Rancangan *Spray Dryer*

A. Konsep Perancangan *Spray Dryer*

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan konsep perancangan *spray dryer* tipe *co-current* sebagai berikut:



Gambar 10. Konsep Perancangan *Spray Dryer*

Keterangan Gambar:

1. Pemanas
2. Termometer raksa
3. Kipas
4. Kerangka peralatan
5. Siklon pemisah
6. Botol penampung produk
7. Ruang pengering
8. Termokontrol dan *switch on* pemanas + kipas
9. Kran nosel dan kran campuran udara + bahan
10. Tangki bahan

B. Mekanisme Kerja *Spray Drying*

Prinsip dasar *Spray drying* adalah memperluas permukaan cairan yang akan dikeringkan dengan cara pembentukan *droplet* yang selanjutnya dikontakkan dengan udara pengering yang panas. Udara panas akan memberikan energi untuk proses penguapan dan menyerap uap air yang keluar dari bahan. Bahan (cairan) yang akan dikeringkan dilewatkan pada suatu *nozzle* (saringan bertekanan) sehingga keluar dalam bentuk butiran (*droplet*) yang sangat halus. Butiran ini selanjutnya masuk ke dalam ruang pengering yang dilewati oleh aliran udara panas. Hasil pengeringan berupa bubuk akan berkumpul di bagian bawah ruang pengering yang selanjutnya dialirkan ke bak penampung.

C. Rancangan Fungsional *Spray dryer*

Spray dryer ini terdiri atas bagian-bagian yang berfungsi sebagai berikut:

1. Kipas/*Blower*

Kipas berfungsi menghisap udara luar dan mengalirkan ke pemanas.

2. Pemanas udara/*Heater*

Heater berfungsi sebagai pemanas udara yang akan digunakan sebagai pengering. Panas yang diberikan harus diatur sesuai dengan karakteristik bahan, ukuran *droplet* yang dihasilkan dan jumlah *droplet*. Suhu udara pengering yang digunakan diatur agar tidak

terjadi *over heating*. Pemanas berfungsi memanaskan udara yang akan digunakan untuk proses penguapan air dari bahan. Udara pengering selanjutnya dialirkan menuju ruang pengering melalui ruang distribusi udara panas. *Spray dryer* ini juga dilengkapi dengan termokontrol untuk mengatur suhu udara yang akan digunakan sebagai pengering *droplets*. Adanya kontak *droplet* dengan udara panas menyebabkan evaporasi kadungan air pada *droplet* hingga 95% sehingga dihasilkan bubuk. Bubuk yang telah kering jatuh ke bawah *drying chamber* (ruang pengering) dari atas chamber hingga mencapai dasar hanya memerlukan waktu selama beberapa detik.

3. Kompresor

Kompresor menghasilkan udara bertekanan yang berfungsi mendorong larutan dalam tangki bahan menuju atomiser. *Spray dryer* ini juga dilengkapi dengan kran campuran udara dan bahan untuk mengatur campuran udara dan bahan dalam tangki menuju atomiser.

4. Tangki pengisian bahan

Tangki pengisian bahan digunakan untuk menampung bahan (larutan) yang akan dialirkan menuju atomiser. *Spray dryer* ini juga dilengkapi dengan kran nosel yang digunakan untuk mengatur besarnya sudut penyemprotan *droplets*.

5. Atomiser

Atomiser merupakan bagian terpenting pada *spray dryer*, di mana memiliki fungsi untuk menghasilkan *droplet* dari cairan yang akan dikeringkan. *Droplet* yang terbentuk akan didistribusikan (disemprotkan) secara merata pada alat pengering, agar terjadi kontak dengan udara panas. Ukuran *droplet* yang dihasilkan tidak boleh terlalu besar karena proses pengeringan tidak akan berjalan dengan baik. Di samping itu, ukuran *droplet* juga tidak boleh terlalu kecil karena menyebabkan terjadinya *over heating*. Pada tengah atomiser disemprotkan udara panas bertekanan. Udara panas dan *droplet* hasil atomisasi disemprotkan ke bawah. Kondisi ini menyebabkan terjadinya kontak antara *droplet* dengan udara panas sehingga terjadi pengeringan secara simultan. Bahan yang akan dimasukkan dalam alat *spray dryer* harus dihomogenisasikan terlebih dahulu agar ukuran *droplet* yang dihasilkan seragam dan tidak terjadi penyumbatan *atomizer*. Homogenisasi dilakukan dengan cara pengadukan. Selanjutnya bahan dialirkan kedalam *atomizer*. *Atomization* merupakan proses pembentukan *droplet*, di mana bahan cair yang akan dikeringkan dirubah ukurannya menjadi partikel (*droplet*) yang lebih halus. Tujuan dari *atomizer* ini untuk memperluas permukaan sehingga pengeringan dapat terjadi

lebih cepat. Pada Industri makanan, luas permukaan *droplet* setelah melalui *atomizer* mencapai 1-400 mikrometer. Atomiser dengan menggunakan nosel berfungsi mengatomisasi bahan (larutan) menjadi bentuk *droplets* yang disemprotkan ke dalam ruang pengering.

6. Ruang pengering

Proses pengeringan *droplets* menjadi bubuk berlangsung di dalam ruang pengering *Chamber*, merupakan ruang di mana terjadi kontak antara *droplet* cairan yang dihasilkan oleh *atomizer* dengan udara panas untuk pengeringan. Kontak udara panas dengan *droplet* akan menghasilkan bahan kering dalam bentuk bubuk. Bubuk yang terbentuk akan turun ke bagian bawah *chamber* dan akan dialirkan dalam botol penampung. Udara hasil pengeringan dipisahkan dengan pengambilan udara yang mengandung serpihan serbuk dalam *chamber*, selanjutnya udara akan memasuki separator.

7. Siklon pemisah

Faktor yang perlu mendapat perhatian dalam sistem *spray dryer* adalah ruang pengeringan yang umumnya berbentuk siklon, yakni hendaklah memilih material siklon yang tepat, kehalusan permukaan dinding bagian dalam siklon yang memenuhi syarat, termasuk dimensi dan sebagainya, sehingga tidak menghambat kelangsungan proses penge-

ringan seperti bahan dapat mengalir turun tanpa hambatan, waktu pengeringan yang cukup, separasi udara dengan bahan dapat berlangsung secara sempurna, dan sebagainya. *Cyclone* berfungsi sebagai penampung hasil proses pengeringan. Bubuk yang dihasilkan akan dipompa menuju *Cyclone*. Siklon pemisah berfungsi memisahkan *droplets* yang masih terikat dengan udara pengering. *Droplets* diproses menjadi bubuk dan ditampung dalam tabung penampung produk, sedangkan udara pengering akan melewati saluran keluar menuju udara bebas. Udara hasil pengeringan dan serpihan serbuk dipisahkan dengan menggunakan gaya sentrifugal. Selanjutnya udara dibuang, dan serpihan bahan dikembalikan dengan cara di-*blow* sehingga bergabung lagi dengan produk dalam *line* proses.

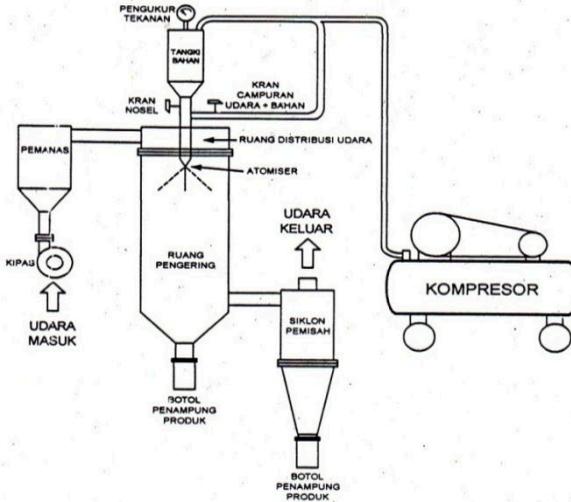
8. Botol penampung produk 1 dan 2

Botol penampung produk 1 untuk menampung produk yang jatuh dari ruang pengering. Botol penampung produk 2 untuk menampung produk yang jatuh dari siklon pemisah, tempat untuk meletakkan dan menyangga

9. Kerangka penyangga

Kerangka penyangga digunakan sebagai *spray dryer*. Kerangka penyangga juga dilengkapi dengan empat roda untuk memudahkan pergerakan *spray dryer*.

D. Rancangan Struktural *Spray Dryer*



Gambar 11. Rancangan Struktural *Spray Dryer*

Udara luar pada suhu ruangan dihisap oleh kipas dan didorong menuju ke dalam saluran. Kemudian di dalam saluran tersebut udara dipanaskan oleh pemanas dan suhunya diatur oleh termokontrol. Udara pengering selanjutnya dialirkan menuju ruang pengering melalui ruang distribusi udara panas. Di dalam ruang pengering, udara panas digunakan untuk mengeringkan *droplets* yang keluar dari nosel. Volume udara dari kompresor yang bertekanan menekan larutan dalam tangki bahan dan mendorongnya menuju atomiser dan kemudian diatomisasi menjadi bentuk *droplets* dan disemprotkan ke dalam ruang pengering. *Droplets* bertemu dengan udara panas sehingga *droplets* menjadi bubuk, jatuh ke dalam botol penampung produk 1. *Droplets* yang masih

terikat udara pengering dipisahkan di dalam siklon pemisah, yaitu *droplets* diproses menjadi bubuk dan ditampung di dalam botol penampung produk 2, sedangkan udara pengering akan melewati saluran keluar menuju udara bebas.

BAB 5

Aplikasi *Spray Dryer* (Produk Minuman Instan)

Aplikasi *spray dryer* dalam industri biasanya digunakan untuk mengeringkan suatu cairan dengan produk akhir berupa bubuk atau serbuk butiran. *Spray dryer* ini banyak dimanfaatkan untuk mengeringkan susu bubuk, ekstrak kopi, tepung, dan lain sebagainya. Pengeringan menggunakan metode ini juga banyak dimanfaatkan untuk membuat produk-produk instan terenkapsulasi, seperti misalnya pembuatan *yoghurt* instan, ataupun minuman instan mengandung vitamin C dan sebagainya.

Aplikasi *spray drying* yang luas dapat dijumpai hampir di semua industri, terutama produksi bahan-bahan kimia, obat-obatan, kosmetika atau pestisida.

Pembuatan minuman dalam bentuk instan merupakan salah satu cara pengolahan untuk meningkatkan nilai tambah produk, mengurangi kerusakan akibat serangan mikroba, mempermudah penyimpanan dan pengangkutan. Bentuk pangan tanpa

air ini, mudah dicampur dengan air (dingin/panas) dan mudah larut sehingga siap untuk dihidangkan. Kriteria tertentu supaya produk pangan bersifat instan dan optimal yaitu bersifat *hidrofilik*; tidak ada lapisan gel; pembasahannya harus cukup baik dan segera turun (tenggelam) tanpa menggumpal; mudah terdispersi; tidak menjadi sedimen atau mengendap di bawah terus. Proses instan yang sempurna merupakan urutan dari proses sebagai berikut: bubuk aglomeret atau granul (butiran) bersentuhan dan menyerap air, menjadi basah dan dalam beberapa saat tenggelam; segera terdispersi merata dalam mediumnya dibantu dengan pengadukan.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk minuman instan yaitu kopi instan.

BAB 6

Penerapan pada Diversifikasi Produk Kopi Instan dengan Mesin *Spray Dryer*

Kopi (*Coffea sp*) merupakan salah satu komoditas andalan perkebunan penghasil devisa ekspor, sumber pendapatan petani, penghasil bahan baku industri, dan penciptaan lapangan kerja serta pengembangan wilayah (Harian Kompas, 2008). Ekspor kopi Indonesia pada tahun 2014 mencapai 475 ribu ton, di mana 385 ribu ton dalam bentuk kopi biji dan 95 ribu ton dalam bentuk kopi olahan. Provinsi Jawa Timur mengalami surplus ekspor kopi sebesar 68 ribu ton pada tahun 2013 dan meningkat menjadi 73 ribu ton pada tahun 2014. Salah satu wilayah pemasok kopi terbesar adalah Kabupaten Jember (Jawa Pos Nasional Network, 2015). Jumlah konsumen kopi semakin meningkat setiap tahunnya dan minum kopi sudah menjadi tradisi masyarakat dari semua lapisan, sehingga menjadi peluang usaha untuk meningkatkan perekonomian rakyat. Kopi instan adalah salah satu kopi olahan dengan tingkat konsumsi paling

tinggi (Suherman, 2010). Prospek ini diperkuat dengan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 87/M-IND/PER/10/2014 tentang Pemberlakuan SNI Kopi Instan.

Industri pengolahan kopi nasional belum optimal, karena hanya 20% total produksi kopi di Indonesia yang diolah menjadi kopi olahan (kopi bubuk, kopi instan, kopi mix), dan 80% dalam bentuk biji kopi kering (*coffee beans*). Sebagian kecil dari 20% adalah produsen kopi olahan baik perorangan atau kelompok kecil dengan mutu produk dan harga rendah. Kondisi ini dialami oleh petani kopi di Lembaga Masyarakat Desa Hutan (LMDH) Wana Asri Desa Sumber Salak, Kecamatan Ledokombo, Kabupaten Jember, di mana hasil panen dijual dalam bentuk biji kopi basah dan biji kopi kering. LMDH Wana Asri mengelola luas lahan yang dikelola bersama (*sharing* bagi hasil produksi kopi) Perhutani lebih dari 2.000 ha dengan jumlah petani yang terdaftar sebanyak 1.100 orang. Upaya menciptakan nilai tambah dari pengolahan biji kopi kering menjadi kopi bubuk telah dilakukan oleh Kelompok Tani Kopi Raung Desa Sempolan, Kecamatan Silo, Kabupaten Jember dengan mesin penggiling kopi. Hasilnya berupa kopi bubuk dengan tekstur butiran kasar dan tidak ada penggunaan bahan penolong untuk menciptakan rasa dan aroma kopi khas daerah Kabupaten Jember. Penyebab kondisi ini adalah keterbatasan informasi tentang teknologi mesin pembuatan kopi olahan yang dapat dimanfaatkan untuk mengolah kopi hasil panen petani menjadi produk kopi olahan yang memiliki mutu dan nilai jual tinggi. Hal ini berdampak pada mutu dan harga jual kopi bubuk

tradisional relatif rendah dan nilai tambah yang diharapkan sangat kecil sehingga tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap pendapatan petani.



(a)



(b)

Gambar 12. (a) Tanaman Kopi LMDH Wana Asri, dan
(b) Tempat Usaha Kopi Bubuk Kelompok
Tani Kopi Raung

Industri pengolahan kopi masih kurang berkembang disebabkan oleh faktor teknis, sosial dan ekonomi. Penerapan teknologi pengolahan hasil kopi baru diterapkan oleh sebagian kecil perusahaan pengolah kopi. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan informasi, modal, teknologi, dan manajemen usaha (Dirjen Industri Agro dan Kimia, 2009). Kesadaran akan nilai tambah kopi olahan dari sebagian kecil anggota LMDH Wana Asri yang tergabung dalam Kelompok Tani Kopi Raung tidak mempengaruhi sebagian besar anggota lainnya karena upaya pengolahan yang dilakukan belum memiliki dampak ekonomi yang diharapkan. Hal ini karena tidak adanya penerapan teknologi mesin pengolahan kopi olahan yang dapat menghasilkan mutu produk dan nilai jual tinggi, model pengelolaan keuangan yang konvensional dan pemasaran kopi bubuk yang terbatas di lingkungan LMDH Wana Asri dan Desa Sempolan. Sementara ketersediaan bahan baku biji kopi kering yang melimpah, luas lahan yang dikelola dan jumlah petani yang terlibat sangat besar, dan tanaman bahan baku tambahan terutama jahe serta coklat yang melimpah menjadi sumber daya yang potensial untuk dikembangkan menuju industri pengolahan kopi olahan dalam bentuk kopi instan aneka rasa khas daerah. Sebagai contoh, perbandingan harga penjualan biji kopi kering sebesar Rp 28.000,- per kilogram di tingkat Pengepul di Kabupaten Jember, sedangkan harga jual kopi instan dapat mencapai Rp 150.000,- per kilogram untuk jenis robusta dan Rp 250.000,- per kilogram untuk Arabusta. Produktivitasnya 5 kali lipat dibanding dengan produktivitas biji kopi kering. Keuntungan lain dari

produk kopi instan adalah kemudahan dan daya tahan dalam penyimpanan, transportasi produk jauh lebih efisien, dan bersifat praktis atau siap saji sehingga lebih banyak diminati oleh masyarakat luas. Dari analisis situasi tersebut, kegiatan ini bertujuan untuk memanfaatkan teknologi mesin *spray dryer* untuk kegiatan produksi diversifikasi kopi olahan dalam bentuk kopi instan aneka rasa yang memenuhi standar organoleptik meliputi tekstur, aroma dan rasa. Sedangkan target khusus yang akan dicapai adalah pengembangan unit usaha pengolahan kopi instan aneka rasa dengan menerapkan paket teknologi *spray dryer*, model manajemen keuangan berbasis akuntansi dan model pemasaran berbasis jaringan ritel di Kota Jember agar tercipta daya saing dan keberlanjutan usaha sehingga berdampak signifikan pada peningkatan pendapatan petani dari kedua mitra.

Keterbatasan informasi, modal, teknologi, dan manajemen usaha telah mendorong petani kopi dalam LMDH Wana Asri untuk menjual hasil panen dalam bentuk biji kopi basah dan biji kopi kering ke pengepul dengan harga lebih rendah dari pasaran. Sedangkan upaya pengolahan biji kopi kering menjadi kopi bubuk yang dilakukan dengan mesin penggiling kopi oleh Kelompok Tani Kopi Raung mengalami kendala pada mutu produk kopi bubuk yang tidak sesuai dengan keinginan pasar baik dari tekstur, aroma dan rasa sehingga harganya rendah dan nilai tambah tinggi yang diharapkan tidak tercapai. Hal ini karena tidak adanya penerapan teknologi mesin pembuatan kopi olahan dalam bentuk diversifikasi produk kopi instan aneka

rasa khas daerah terutama jahe dan coklat yang sesuai standar organoleptik (tekstur, aroma, rasa) sehingga harganya tinggi dan kompetitif dengan produk kopi instan lainnya di pasaran. Di samping itu, tidak adanya pengetahuan tentang manajemen keuangan berbasis akuntansi dan pengembangan strategi pemasaran berbasis jaringan ritel di Kota Jember serta sekitarnya ikut memperlambat laju perkembangan usaha.

Berdasarkan analisis situasi pada LMDH Wana Asri dan Kelompok Tani Kopi Raung, dapat dirumuskan tiga permasalahan prioritas sebagai berikut:

1. Keterbatasan informasi dalam penerapan paket teknologi mesin *spray dryer* untuk menghasilkan diversifikasi produk kopi instan aneka rasa khas daerah berbahan baku kopi dan bahan tambahan local, serta mutu produk yang teruji secara organoleptik baik tekstur, aroma, dan rasa.
2. Kurangnya pengetahuan dan keterampilan teknis dalam pembuatan kopi olahan dari kopi biji kering menjadi kopi instan aneka rasa dengan harga kompetitif dengan kopi instan lainnya di pasaran.
3. Keterbatasan kemampuan manajemen usaha, baik manajemen keuangan bisnis berbasis akuntansi dan manajemen pemasaran produk berbasis jaringan ritel di Kota Jember dan sekitarnya.

BAB 7

Teknologi Tepat Guna *Spray Dryer*

Berdasarkan permasalahan prioritas dari kedua mitra, maka solusi pertama yang ditawarkan dalam kegiatan PKM ini adalah program penyediaan paket teknologi mesin *spray dryer* dan dokumen standar prosedur operasional diversifikasi produk kopi instan aneka rasa yang memenuhi standar pengujian organoleptik. Mutu produk yang diharapkan adalah kopi instan aneka rasa khas daerah Kota Jember yang memenuhi pengujian tekstur, aroma dan rasa sehingga berpotensi untuk mendapatkan Standar Nasional Indonesia (SNI) kopi instan. Target luaran pertama yang akan dihasilkan adalah: (1) tersedianya mesin *spray dryer* dengan kapasitas produksi yang sesuai dengan kebutuhan mitra dan panduan manual pengoperasiannya, (2) dokumen Standar Prosedur Operasional (SOP) tentang tahapan produksi diversifikasi kopi instan terdiri atas penyiapan bahan baku utama, penyiapan bahan baku penolong, penyiapan bahan baku tambahan, penyiapan peralatan dan bahan kemasan, proses

penggorengan, pengemasan serta pelabelan, penyimpanan produk.

Rancangan struktural mesin *spray dryer co-current* dari solusi pertama ditunjukkan dalam Gambar 11 dengan komponen terdiri atas pemanas, termometer raksa, kipas, siklon pemisah, botol penampung produk, ruang pengering, termokontrol dan *switch on* pemanas dan kipas; kran nosel dan kran campuran udara; serta bahan, tangki bahan, dan kompresor.

Setelah tersedia paket teknologi *spray dryer*, solusi kedua yang ditawarkan adalah program pelatihan dan pendampingan penerapan paket teknologi untuk mengolah biji kopi kering menjadi produk kopi instan aneka rasa dari bahan baku petani LMDH Wana Asri yang diproduksi oleh Kelompok Tani Kopi Raung.

Target luaran kedua yang akan dihasilkan adalah: (1) pengetahuan dan keterampilan teknis dalam memanfaatkan kopi biji kering menjadi produk diversifikasi kopi instan dengan menggunakan mesin *spray dryer*, (2) kemampuan secara mandiri memproduksi produk kopi instan yang sesuai dengan mutu dan kebutuhan pasar, (3) terjalannya kerja sama dan komunikasi antara LMDH Wana Asri sebagai penyedia bahan baku biji kopi kering dan Kelompok Tani Kopi Raung sebagai produsen serta manajer keuangan dan pemasaran. Kegiatan diversifikasi produk olahan kopi berbasis teknologi ini memiliki manfaat ganda bagi petani, yaitu mengurangi kerugian dan ketergantungan terhadap pengepul serta mendapatkan nilai tambah dari harga jual kopi instan yang relatif tinggi. Bagi anggota

Kelompok Tani yang juga anggota LMDH Wana Asri juga merasakan manfaat ekonomi berupa peningkatan daya saing usaha dan pendapatan anggota. Hal ini penting untuk disampaikan agar kedua mitra memiliki kesadaran untuk bekerja sama secara berkelanjutan.

BAB 8

Hasil dan Luaran yang Dicapai

Serangkaian kegiatan yang telah dilakukan meliputi persiapan, perancangan mesin *spray dryer*, pengujian formula komposisi bahan starter dan bahan kopi, dan pelaksanaan kegiatan sosialisasi pada masyarakat sasaran dijelaskan sebagai berikut ini.

8.1 Kegiatan Persiapan

Tim Pelaksana PKM melakukan kegiatan koordinasi awal yang dihadiri oleh ketua dan anggota pelaksana pada bulan Maret 2017. Tujuannya adalah menyusun rencana kegiatan pengabdian yang akan dilakukan dan pembagian tugas pokok dan fungsi (Tupoksi) dari masing-masing pihak yang terlibat. Koordinasi selanjutnya melibatkan satu petugas laboran dan dua mahasiswa Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember untuk mendukung kegiatan perancangan mesin *spray dryer* dan pengujian formula komposisi bahan starter dan bahan kopi di Laboratorium Prodi Teknik Mesin dan Bengkel Mesin

Kopi. Bengkel Mesin Kopi tersebut dikelola oleh alumni Prodi Teknik Mesin. Di samping itu, kedua mahasiswa akan membantu pelaksanaan pelatihan dan pendampingan produksi diversifikasi kopi instan aneka rasa pada masyarakat sasaran di LMDH Wana Asri serta Kelompok Tani Kopi Raung. Keterlibatan mahasiswa sangat penting sebagai proses pembelajaran, pemagangan dan penyelesaian tugas akhir yang berkaitan dengan topik perancangan mesin *spray dryer*.



Gambar 13. Koordinasi Awal Tim Pelaksana PKM



Gambar 14. Koordinasi Tim Pelaksana PKM, Laboran dan Mahasiswa

Hasil koordinasi dan konsolidasi Tim Pelaksana di atas dikonfirmasi ke mitra masyarakat sasaran dan dihasilkan jadwal pelaksanaan kegiatan PKM Diversifikasi Produk Kopi Instan dengan mesin *spray dryer* seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Jadwal Pelaksanaan PKM 2017

No	Tanggal	Uraian Kegiatan PKM
1.	Maret 2017	Koordinasi dan konsolidasi Tim Pelaksana, Laboran, Mahasiswa, dan mitra masyarakat sasaran.
2.	April s/d Mei 2017	Perancangan mesin <i>spray dryer</i> dan pengujian operasional mesin produksi.

No	Tanggal	Uraian Kegiatan PKM
3.	Juni 2017	Pembuatan formula produk kopi instan melalui pengujian komposisi bahan starter dan kopi pada mesin <i>spray dryer</i> .
4.	Juli 2017	Sosialisasi Program PKM kepada mitra masyarakat sasaran LMDH Wana Asri dan Kelompok Tani Kopi Raung.
5.	Agustus 2017	Pembuatan dokumen SOP, Pelatihan dan pendampingan pembuatan produk kopi instan dengan mesin <i>spray dryer</i> .
6.	September 2017	Perancangan dan pengujian model keuangan standar akuntansi dan pemasaran berbasis jaringan ritel di Kabupaten Jember.
7.	Oktober 2017	Perizinan produk dan <i>launching</i> unit usaha, serta <i>monitoring</i> dan evaluasi pelaksanaan unit usaha kopi instan.

8.2 Kegiatan Perancangan Teknologi Mesin *Spray dryer*

Tim Pelaksana PKM menyediakan paket teknologi pengolahan kopi instan meliputi perancangan mesin *spray dryer*, pengujian formula komposisi bahan produk kopi instan, pembuatan dokumen standard operasi prosedur operasional dan perawatan mesin produksi kopi instan dijelaskan sebagai berikut ini:

A. Perancangan Mesin *Spray dryer*

Kegiatan perancangan mesin *spray dryer* dilakukan oleh Tim Pelaksana PKM bekerja sama dengan Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember dan Bengkel Mesin Kopi. Tim Pelaksana PKM dibantu oleh satu laboran atau teknisi mesin dan dua mahasiswa yang sedang menempuh tugas akhir pada topik perancangan mesin *spray dryer*.

Rancangan struktural mesin *spray dryer* awal yang direncanakan ditunjukkan dalam Gambar 2. Dalam pelaksanaannya, Tim Pelaksana PKM mendesain ulang rancangan struktural mesin *spray dryer* dengan menghilangkan bagian siklon pemisah. Bagian siklon pemisah dibutuhkan apabila tekanan udara dalam ruang pengering relatif tinggi sehingga diperlukan tabung pemisah untuk menangkap butiran yang terbawa udara. Penggunaan komponen pemanas jenis *heater soft gun* dan pengaturan tekanan udara pada kompresor

menyebabkan butiran jatuh langsung ke bagian botol penampung.



(a)



(b)

Gambar 15. (a) Proses pembuatan, dan (b) *Setting* Komponen Mesin *Spray dryer*



(a)



(b)

Gambar 16. (a) dan (b) Proses Pengujian Unit Mesin *Spray dryer*

B. Pengujian Formula Komposisi Bahan Kopi Instan

Tim Pelaksana PKM melakukan pengujian formula komposisi dari bahan-bahan pembuatan kopi instan. Bahan terdiri dari bahan starter, bahan utama kopi dan bahan penunjang. Bahan starter adalah bahan-bahan selain kopi untuk menyiapkan cairan campuran awal yang akan disatukan dengan cairan kopi menjadi cairan kopi instan. Dalam tahap pengujian ini, digunakan peralatan dan bahan-bahan dari proses produksi diversifikasi kopi instan, serta tahapan produksi kopi instan dijelaskan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Peralatan, Bahan dan Tahapan Pengujian Formula

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
Peralatan Utama:	Bahan Starter:	Tahapan Penyiapan Cairan Starter:
Mesin <i>Spray dryer</i>	- Bubuk Susu - Bubuk Krim - Bubuk Gula	1. Ambil dan timbang bubuk susu 25 gr, masukkan dalam Gelas Susu. 2. Ambil dan timbang bubuk

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
Peralatan	Bahan	krem 25 gr,
Penunjang:	Utama :	masukkan
1. Kompor Gas	Bubuk Kopi	dalam Gelas Krem.
2. Panci <i>Stainless steel</i>	Bahan	3. Ambil dan
3. Gelas Ukur Air (ml)	Penunjang:	timbang bubuk
4. Sendok Makan	1. Air	gula 20 gr,
5. Gunting	Mineral	masukkan
6. Alat Penyaring	2. Plastik	dalam Gelas Gula.
7. Alat Timbang (gram)	Kemasan	4. Ambil air
8. Alat Kemasan sealer		mineral
		secukupnya dan
		masak sampai
		mendidih.
		5. Tuangkan 100
		ml air panas
		dalam Gelas
		Susu, aduk
		hingga
		bercampur.
		6. Tuangkan 100
		ml air panas
		dalam Gelas
		Krem, aduk
		hingga
		bercampur.

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
		<ol style="list-style-type: none"> 7. Tuangkan 50 ml air panas dalam Gelas Gula, aduk hingga bercampur. 8. Tuangkan cairan susu, krem dan gula dalam Gelas Cairan Starter, aduk hingga bercampur.

Tahapan Penyiapan Cairan Kopi:

1. Ambil dan timbang bubuk kopi 50 gr, masukkan dalam Gelas Kopi.
2. Ambil air mineral secukupnya dan masak sampai mendidih.
3. Tuangkan 250 ml air panas

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
		dalam Gelas Kopi, aduk dan diamkan sekitar 4 jam.
		4. Pisahkan ampas kopi dan cairan kopi dengan cara penyaringan sehingga diperoleh cairan kopi tanpa ampas.
		5. Tuangkan cairan kopi tanpa ampas dalam Gelas Cairan Kopi.

Tahapan Penyiapan Cairan Kopi Instan:

1. Tuangkan cairan starter dan cairan kopi dalam Gelas Cairan Kopi Instan.

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
		2. Aduk hingga bercampur sekitar 15 m dalam Gelas Cairan Kopi Instan.
		Tahapan Produksi Kopi Instan:
		1. Hidupkan kompresor udara.
		2. Hidupkan tombol <i>heater soft gun</i> .
		3. Tuangkan cairan kopi instan dalam tangki bahan.
		4. Tekan kran nosel sehingga cairan kopi instan menyembur ke ruang pengering.

Peralatan	Bahan	Tahapan Pengujian
		5. Butiran kopi instan akan jatuh ke bak atau botol penampung produk kopi instan.
		6. Jika cairan dalam tangki bahan habis, ulangi langkah 3–5 hingga persediaan cairan kopi instan habis.
		7. Matikan tombol <i>heater soft gun</i> dan kompresor udara.
		8. Ambil bak atau botol penampung produk dan lakukan pengemasan.

Tahapan pengujian formula komposisi bahan sebagaimana pada Tabel 4 ditunjukkan dalam Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19.



Gambar 17. Daftar Bahan Starter, Bahan Kopi, Bahan Penunjang



Gambar 18. Pembuatan Cairan Starter dan Cairan Utama Kopi



Gambar 19. Pencampuran Cairan dan Produksi Butiran Bubuk Kopi Instan

Berdasarkan komposisi bahan seperti pada Tabel 4, dihasilkan larutan kopi instan sebanyak 550 ml. Pengujian menggunakan 170 ml pada tangki bahan dihasilkan maksimal bubuk kopi instan sebanyak 6 gram atau 3,5% ditunjukkan dalam Gambar 20.



Gambar 20. Bubuk Kopi Instan

C. Perbaikan Rancangan Mesin *Spray dryer* dan Pengujiannya

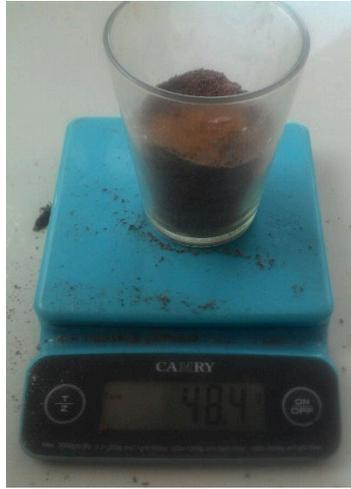
Tim Pelaksana PKM melakukan perbaikan rancangan struktural mesin *spray dryer* dan pengujian kembali formulasi komposisi bahan. Perbaikan rancangan struktural mesin dilakukan dengan menambahkan satu *heater soft gun* menjadi

dua *heater soft gun* ditunjukkan dalam Gambar 15 dan Gambar 16. Hal ini dilakukan karena prosentase butiran bubuk kopi instan yang dihasilkan oleh mesin *spray dryer* dengan satu *heater soft gun* relatif kecil yaitu 3,5% (6 gr dari 170 ml). Persentase tersebut tidak mencerminkan kebutuhan mitra dan nilai keekonomian dari produk kopi instan yang dihasilkan tidak kompetitif.

Pengujian berikutnya menggunakan komposisi bahan seperti pada Tabel 4 dengan pengurangan air mineral sebesar 200 ml sehingga dihasilkan larutan kopi instan sebanyak 350 ml. Dengan pengujian menggunakan 170 ml pada tangki bahan dihasilkan maksimal butiran bubuk kopi instan sebanyak 48,5 gram atau 28,5% (48,5 gr dari 170 ml) dalam alat timbangan ditunjukkan dalam Gambar 20 dan dalam kemasan plastik ditunjukkan dalam Gambar 21. Persentase bubuk kopi instan yang dihasilkan menjadi jauh lebih tinggi dengan peningkatan sebesar 25%. Sehingga desain mesin *spray dryer* dengan dua *heater soft gun* dan komposisi bahan yang menghasilkan larutan kopi instan sebanyak 350 ml adalah desain mesin dan komposisi bahan dengan kinerja terbaik.



(a)



(b)

Gambar 21. (a) Mesin *Spray dryer* (2 Heater), dan
(b) Bubuk Kopi Instan



Gambar 22. Bubuk Kopi Instan (Dalam Kemasan Plastik)

8.3 Kegiatan Sosialisasi Diversifikasi Kopi Instan

Tim Pelaksana PKM melakukan kegiatan sosialisasi tentang tahapan pembuatan diversifikasi produk kopi instan kepada mitra masyarakat sasaran LMDH Wana Asri dan Kelompok Tani Kopi Raung Kabupaten Jember. Kegiatan sosialisasi awal ini bertujuan menjelaskan tentang pengolahan biji kopi kering menjadi produk diversifikasi kopi instan yang memiliki mutu dan nilai jual tinggi, rencana kegiatan pelatihan serta pendampingan proses produksi kopi instan berdasarkan paket teknologi mesin *spray dryer* yang telah disiapkan, pengemasan dan perizinan produk. Dengan pengelolaan yang baik, akan berpengaruh signifikan pada peningkatan pendapatan petani kopi pada kedua mitra. Di samping itu, Tim Pelaksana PKM membantu membuat dokumen rencana bisnis (*business plan*) pembentukan unit usaha pengolahan kopi instan khas daerah Kabupaten Jember melalui kerja sama dari kedua mitra masyarakat sasaran.

Kegiatan sosialisasi diversifikasi kopi instan melibatkan perwakilan dari kedua mitra masyarakat sasaran ditunjukkan dalam Gambar 22, dan sosialisasi manfaat kopi bagi kesehatan manusia ditunjukkan dalam Gambar 23 dan Gambar 24.



Gambar 23. Kegiatan Sosialisasi Diversifikasi Kopi Instan



Gambar 24. Kegiatan Sosialisasi Manfaat Kopi Bagi Kesehatan

Daftar Pustaka

- Akasahi, Y dan M. Nakayama. 2002. *Instant Coffee with Natural Aroma by Spray dryer*. Japan: Morinaga Engineering Co.Ltd.
- Arun, S. *Handbook of Industrial Dryin*. 3rd edition.
- Barbosa-Canovas, G.V. dan Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of Foods*. London: Chapman & Hall.
- Barbosa-Canovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., dan Yan, H. 2005. *Food Powders: Physical Properties, Processing, and Functionality*. New York: Plenum Publisher.
- Bhandari, B.R., Datta N., Howes T. 1997. *Problems Associated with Spray Drying of Sugar-Rich Foods. Drying technology*. 15 : 671-684.
- Dirjen Industri Agro dan Kimia. 2009. *Roadmap Industri Pengolahan Kopi*. Jakarta: Departemen Perindustrian.
- Filkova, I and Mujumdar AS. 1994. *Industrial Spray Drying Syatem in Handbook of Industrial Drying*. 2nd Edition. New York: Mercel Dekker INC.

- Glass, D. 2002. *Study of Agglomeration in Spray dryers Using Particle Image Velocimetry*. Postgraduate Research Projects.
- Geenkoplish. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*. Prectice-hall International.
- Gonzales, E.J. 2003. *Gas-Droplet Flows*. Department of Mechanical Engineering University of Puerto Rico-Mayaguez.
- Harian Kompas. 2008. *Produksi Kopi Indonesia Masih Posisi Empat Dunia*, www.kompas.com/nasional/read/2008/03/19/1102529/produksi.kopi.indonesia.masih.posisi.empat.dunia.
- Hartomo, A.J. dan Widiatmoko. 1992. *Emulsi dan Pangan Instant Ber-lesitin*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Heldman, D.R, and D.B. Lund. 1989. *Handbook of Food Engineering*. New York: Marcell Dekker. Inc.
- Holman, J.P. 1997. *Perpindahan Kalor*. Edisi VI. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- HMI Koms Teknologi Pertanian Brawijaya Malang. 2012. <http://hmitpub.blogspot.com/2012/01/metode-pengeringan-spray-drying.html>.
- HS, Achmad Fauzan dan Abdul Halim. S.T. 2000. *Rekayasa Sisitem Pengkabut pada Mesin Penurunan Kadar Air Madu*.
- Incropera, F.P and D.P. De Witt. 1985. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. New York: John Wiley and Sons.

- Jawa Pos Nasional Network. 2015. *Optimis Ekspor Kopi Meningkatkan Tahun 2015*. www.jpnn.com/.
- Jinapong, N., Suphantharika, M., dan Jamnong, P. 2003. Production of Instant Soymilk Powders by Ultrafiltration, Spray Drying and Fluidized Bed Agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84:194-205.
- Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P. 2008. Production of Instant Soymilk Powders by Ultrafiltration, Spray Drying and Fluidized Bed Agglomeration. *Journal of Food Engineering*. 84: 194–205.
- K, Dhadhang Wahyu. 2012. *Teknologo Sediaan Farmasi*. Purwokerto: Lab. Farmasetika UNSOED.
- Kasiri, N and Delkhah, F. 2001. *Mathematical Modeling of a Mixed Flow Spray dryer*. Iran: J. Science and Technology.
- Kieviet, G. Frank. 1997. *Modelling Quality in Spray Drying*. The Netherlands: Eindhoven University of Technology,
- Kudra T., Mujumdar, A.S.M. 1995. Special Drying Techniques and Novel Dryers, pp. 1087–1149. In: *Handbook of Industrial Drying*. Mujumdar A.S. (Eds). New York: Marcel Dekker Inc.
- Masters, K. 1979. *Spray Drying Hand Book*. Edisi 3. New York: George Godwin.
- , 1984. *Spray Drying Handbook*. Newyork: Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons.Inc.

- ,1985. *Spray Drying Handbok*. 4th Edition. England: Longman Scientific and Technical.
- Mc cabe Warren L. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering*. International Edition.
- Mini *Spray dryer* Buchi 190, Seri No. 97021 A4 300, Buchi Laboratorium Technik, 1990.
- Mufarida, N.A. 2004. *Pengaruh Suhu Udara Pengering Terhadap Proses Perpindahan Panas dan Massa pada Pembuatan Bubuk Kopi Instan dengan Spray dryer*. Malang.
- , 2005. Pengaruh Suhu Udara Pengering terhadap Proses Perpindahan Panas dan Massa pada Pembuatan Bubuk Kopi Instan dengan *Spray dryer*. *Jurnal Rekayasa Teknologi*. Volume 01 Nomor 02 ISSN 1858-0092. Jember: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jember.
- , Februari 2016. *Perpindahan Panas dan Massa pada Spray dryer*. Jember.
- Mujumdar A.S. 1995. *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Mujumdar, Arun S. 2006. *Handbook of Industrial Drying*. Singapore: National University of Singapore, CRC Press Online.
- Patel R., Patel M., Suthar A. 2009. *Spray Drying Technology: an Overview*. India: Department of Pharmaceutics, S. K. Patel College of Pharmaceutical Education and Research, Ganpat University.

- Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 87/M-IND/PER/10/2014 tentang Pemberlakuan SNI Kopi Instan.
- Perry. 2007. *Chemical Engineering Handbook*. 8th Edition. New York: McGraw-Hill Education.
- Prinn, K.B., H.R. Costantino, and M. Tracy. 2002. Statistical Modelling of Protein Spray Drying at The Lab Scale. *J. Scientific* (3). Cambridge.
- Quek, S.Y., Chok, N.K., dan Swedlund, P. 2007. The Physicochemical Properties of Spray Dried Watermelon Powders. *Chemical Engineering and Processing*. 46:386-392.
- Robert H Perry, Green. 1984. *Chemical Engineers Handbook*. New York: McGraw Hill Education.
- Roshandel, A. 2000. Design and Set Up of a Pilot Plant *Spray dryer* for Egg White Powder Production. *J. Chemical Engineering*.
- Stoecker, F.W dan J. W Jones. 1996. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Terjemahan Supratman Hara. Edisi II. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Suherman, Wijaya, Kristiana. 2010. Pengembangan Pengerian Unggun Terfluidakan partikel Inert Skala Laboratorium Untuk Produksi Kopi Instan Kualitas Tinggi. *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*.
- Taib, G., E.G Sa'id dan S. Wiraatmaja. 1987. *Operasi Pengerian pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Jakarta: PT. Mediatama Sarana Perkasa.

- Vistanty, Hany. 2010. *Pengeringan Pasta Susu Kedelai Menggunakan Pengereng Unggun Terfluidakan Partikel Inert*. Semarang: Magister Teknik Kimia Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Yitnosumarto, S. 1993. *Percobaan Perancangan, Analisis, dan Interpretasinya*. Jakarta: Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Zbicinski, I.; C. Strumillo; J. Kasznia; J. Adamiec. and A. Delag. 2000. Experimental Analysis of The Kinetics of Spray Drying Process. *J. Chemical Engineering*. 48(3).

Indeks

Aliran Laminer; 24

Aliran Turbulen; 25

Gradien Temperature Fluida; 14

Kondisi Stedi; 3, 7, 8

Konduktivitas Termal; 9, 11, 13

Konveksi Bebas; 15, 24, 25

Konveksi Paksaan; 24

Perpindahan Panas; 1, 2, 19, 20, 28

Spray dryer; 27, 28, 29, 34, 40, 42, 44, 48, 50, 53

Termodinamika; 1, 2, 3, 16

PERPINDAHAN PANAS 1

Konsep dan Penerapannya

Buku dengan judul Perpindahan Panas 1 “Konsep dan Penerapannya” merupakan Buku Ajar untuk mahasiswa yang menempuh perkuliahan Perpindahan Panas 1. Buku ini menjelaskan kepada Mahasiswa tentang konsep dasar perpindahan panas untuk perhitungan penukar kalor dan penerapannya. Diharapkan setelah membaca buku ini, Mahasiswa mampu menjelaskan hubungan termodinamika dan perpindahan panas serta prinsip dasar mekanisme perpindahan panas konduksi, konveksi dan radiasi; Menjelaskan sifat-sifat bahan dalam perpindahan panas; Menjelaskan besaran dan satuan perpindahan panas; Menjelaskan analogi panas kalor dan listrik, dan; Menjelaskan material-material penghantar dan isolator (penyekat panas).



Nely Ana Mufarida, lahir di Situbondo 22 April 1977. Menyelesaikan Program Sarjana Teknik Mesin di Universitas Muhammadiyah Malang pada tahun 1999 dan Program Pascasarjana Teknik Mesin di Universitas Brawijaya Malang pada tahun 2004. S1 dan S2 menempuh bidang konsentrasi yang sama yaitu Konversi Energi. Sejak tahun 2004 menjadi dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember hingga sekarang (2017).

Penerbit
PustakaAbadi
Bersama Membangun Generasi Literasi

Anggota IKAPI
Perum Islana Tegal Besar
Cluster Majapahit Blok P No. 2
Jember, Jawa Timur, 68132
www.pustakaabadi.co.id
redaksi@pustakaabadi.co.id

Perguruan Tinggi

ISBN 978-602-5570-59-9



9 786025 570599