



**PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA  
HORISONTAL TERHADAP LAJU PERPINDAHAN  
MASSA PADA *TRAY DRYER* UNTUK PENGERINGAN  
BAHAN PANGAN**

**SKRIPSI**

diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Muh Mangsur

NIM.5212414053

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2018**



**PENGARUH KECEPATAN ALIRAN UDARA  
HORISONTAL TERHADAP LAJU PERPINDAHAN  
MASSA PADA *TRAY DRYER* UNTUK PENGERINGAN  
BAHAN PANGAN**

**SKRIPSI**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin**

**Oleh**

**Muh Mangsur**

**NIM.5212414053**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2018**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Muh Mangsur

NIM : 5212414053

Program Studi : Teknik Mesin S1

Judul : Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Horisontal Terhadap Laju  
Perpindahan Massa Pada *Tray Dryer* Untuk Pengeringan Bahan  
Pangan.

Skripsi/TA ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang  
panitia ujian Skripsi/TA Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas  
Negeri Semarang.

Semarang, 18 Desember 2018

Pembimbing



Danang Dwi Saputra, S.T., M.T.  
NIP. 197811052005011001

## PENGESAHAN

Skripsi/TA dengan judul “Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Horisontal Terhadap Laju Perpindahan Massa Pada *Tray Dryer* Untuk Pengeringan Bahan Pangan” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi/TA Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 27 Desember 2018

Oleh

Nama : Muh Mangsur  
NIM : 5212414053  
Program Studi : Teknik Mesin S1

Panitia:

Ketua



RUSIYANTO S. Pd., M.T.  
NIP.197403211999031002

Sekretaris



Dr. Ir. Rahmat Doni Widodo, S.T., M.T. IPP  
NIP.197509272006041002

Penguji 1



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph. D  
NIP.197601012003121002

Penguji 2



Widi Widayat, S.T., M.T.  
NIP.197408152000031001

Pembimbing



Danang Dwi Saputra, S.T., M.T.  
NIP. 197811052005011001

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi yang bersangkutan.

Semarang, 20 Desember 2018

Yang membuat pernyataan,



Muh Mangsur  
NIM. 5212414053

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **Motto**

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”. “Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”. (QS. Al Insirah: 5-6)

“Amalan yang paling dicintai oleh Allah adalah amalan yang terus menerus [istiqamah] walaupun itu sedikit”.

### **Persembahan**

Untuk Ayah, Ibu dan adik-adik, serta untuk keluarga besar Bapak Dr. dr.H. Mahalul Azam. M. Kes, tercinta.

Untuk guru-guruku tercinta.

## ABSTRAK

**Mangsur, M. 2018.** Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Horisontal Terhadap Laju Perpindahan Massa pada *Tray Dryer* Untuk Pengeringan Bahan Pangan. Skripsi. Prodi Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Danang Dwi Saputra, S.T., M.T.

Proses pengeringan bahan pangan dengan arah aliran udara vertikal membutuhkan waktu yang lama. Dengan metode eksperimen menggunakan alat pengering model *tray dryer* arah aliran udara horisontal dapat memepersingkat waktu pengeringan. Alat pengering model *Tray Dryer* merupakan sistem pengeringan alternatif yang digunakan dalam penelitian ini. Tujuan dari proses pengeringan ini adalah untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara horisontal terhadap laju perpindahan massa yang terkandung didalam bahan yang dikeringkan.

Bahan pangan yang digunakan adalah ubi kayu yang sudah di iris tipis. Proses pengeringan menggunakan variasi kecepatan udara sebesar 1 m/s, 1,5 m/s, dan 2 m/. temperaur *Heater* adalah 50<sup>0</sup>C. Terdapat dua rak didalam *Chamber*, berat sampel adalah 250 g/rak. Waktu 2 jam dengan asumsi 30 menit dilakukan penimbangan. Setiap variasi kecepatan udara dilakukan 4 kali eksperimen, dan diambil hasil reratanya, kemudian dilakukan analisis.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan kecepatan aliran udara 1 m/s, laju perpindahan massanya sebesar  $23,14 \times 10^{-3}$  kg/s. Kecepatan udara 1,5 m/s, laju perpindahan massanya sebesar  $70,87 \times 10^{-3}$  kg/s, serta kecepatan udara 2 m/s laju perpindahan massanya sebesar  $106,35 \times 10^{-3}$  kg/s. Disimpulkan bahwa laju perpindahan massa semakin tinggi seiring dengan semakin besarnya koefisien perpindahan massa. Penelitian selanjutnya agar dimaksimalkan waktu untuk proses pengeringan bahan pangan.

**Kata kunci:** *tray dryer*, kecepatan udara horisontal, laju perpindahan massa



## **PRAKATA**

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi/TA yang berjudul “Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Horizontal Terhadap Laju Perpindahan Massa pada *Tray Dryer* untuk Pengeringan Bahan Pangan”. Skripsi/TA ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat-Nya di yaumul akhir nanti, Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Allah SWT. yang telah memberikan ni'mat sehat sehingga penyusunan skripsi ini tidak terhambat.
2. Kedua orang tua, atas dukungan dan do'a yang selalu menyertai.
3. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum, selaku Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di UNNES.
4. Bp. Nur Kudus, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik UNNES.
5. Bp. Rusiyanto, S.Pd, M.T, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES.
6. Bp. Danang Dwi Saputro, S.T, M.T, selaku dosen pembimbing dalam penelitian dan penyusunan skripsi yang dilakukan.

7. Bp. Samsudin Anis, S.T., M.T., P. hD, selaku dosen penguji I pada laporan skripsi ini.
8. Bp. Widi Widayat, S.T., M.T, selaku dosen penguji II pada laporan skripsi ini.
9. Seluruh dosen yang telah memberikan ilmunya atas mata kuliah yang diambil, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2014 yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga Skripsi/TA ini dapat bermanfaat bagi khalayak umum maupun mahasiswa di perguruan tinggi, khususnya Universitas Negeri Semarang (UNNES).

Semarang, 20 Desember 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN BERLOGO .....	ii
JUDUL DALAM .....	iii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iv
PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS dan LAMBANG .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Kajian Pustaka .....	6
2.2 Landasan Teori.....	9
2.2.1 Konsep dasar pengeringan .....	9
2.2.2 Sifat-sifat udara.....	13
2.2.3 Perpindahan Panas .....	16
2.2.3.1 Konduksi .....	16

2.2.3.2 Konveksi .....	17
2.2.4 Konsentrasi .....	23
2.2.5 Perpindahan Massa .....	27
2.2.5.1 Perpindahan massa konduksi .....	27
2.2.5.2 Perpindahan massa konveksi .....	29
2.2.5.3 Laju penurunan kadar air .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>32</b>
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	32
3.2 Desain Penelitian .....	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	33
3.3.1 Alat.....	33
3.3.2 Bahan .....	37
3.4 Parameter Penelitian .....	37
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.6 Kalibrasi Instrumen.....	38
3.7 Teknik Analisis Data.....	40
<b>BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN</b> .....	<b>42</b>
4.1 Deskripsi Data.....	42
4.2 Analisis Data .....	43
4.3 Pembahasan.....	48
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

$Re$	: Bilangan <i>Reynold</i>
$Le$	: Bilangan <i>lewis</i>
$\rho$	: Massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )
$U$	: Kecepatan fluida mengalir ( $\text{m/s}$ )
$x$	: Jarak yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik $x$ (m)
$\mu$	: Viskositas fluida ( $\text{N.s/m}^2$ )
$\nu$	: Viskositas kinematic fluida ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$Nu_x$	: Bilangan <i>Nusselt</i> lokal
$h_x$	: Koefisien perpindahan panas konveksi lokal pada titik $x$ ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
$k$	: Konduktivitas <i>thermal</i> bahan ( $\text{W/m} \cdot \text{K}$ )
$Re_x$	: Bilangan <i>Reynold</i> lokal
$Pr$	: Bilangan <i>Prandtl</i>
$Sc$	: Bilangan <i>Schmit</i>
$Sh$	: Bilangan <i>Sherwood</i>
$h_m$	: Koefisien perpindahan massa ( $\text{m/s}$ )
RH	: <i>Relative humidity</i> / kelembaban relative (%)
$m_1$	: Berat sampel pada rak 1 (g)
$m_2$	: Berat sampel pada rak 2 (g)
$\mathcal{V}$	: Volume jenis ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )
$m$	: Massa (kg)
$Q_{kon}$	: Laju perpindahan panas konduksi (W)
$A$	: Luas penampang perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )
$T_A$	: Temperatur pada titik A (K)
$T_B$	: Temperatur pada titik B (K)
$L$	: Ketebalan dinding benda (m)
$\dot{Q}_{kon}$	: Laju perpindahan panas konveksi (W)
$h$	: Koefisien perpindahan panas konveksi ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ )
$A_s$	: Luas penampang perpindahan panas ( $\text{m}^2$ )
$T_s$	: Temperatur permukaan benda (K)
$T_\infty$	: Temperatur fluida yang mengalir (K)
$V$	: Volume ( $\text{m}^3$ )
$w$	: Fraksi massa
$C$	: Konsentrasi mol ( $\text{mol/m}^3$ )
$N$	: Jumlah mol (mol)
$y$	: Fraksi mol
$MR$	: Berat molekul ( $\text{kg/mol}$ )
$D_{air-udara}$	: Koefisien difusi massa air pada udara ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$T$	: Temperatur (K)

$P$	: Tekanan (atm)
$\dot{N}$	: Laju perpindahan massa (mol/s)
$D$	: Koefisien difusi massa suatu zat pada mediumnya ( $m^2/s$ )
$C_A$	: Konsentrasi pada titik A ( $mol/m^3$ )
$C_B$	: Konsentrasi pada titik B ( $mol/m^3$ )
$C_{a,s}$	: Konsentrasi uap air di permukaan material ( $kg.mol/m^3$ )
$C_{a,\infty}$	: Konsentrasi uap air di udara pengering ( $kg.mol/m^3$ )
$\rho_{a,s}$	: Rapat massa uap air di permukaan material ( $kg/m^3$ )
$\rho_{a,\infty}$	: Rapat massa uap air di medium pengering ( $kg/m^3$ )
$T_{in}$	: Temperatur masuk ( $^{\circ}C$ )
$RH_{in}$	: RH masuk (%)
$T_{heater}$	: Temperatur <i>heater</i> ( $^{\circ}C$ )
$T_1$	: Temperatur di titik 1 ( $^{\circ}C$ )
$T_2$	: Temperatur di titik 2 ( $^{\circ}C$ )
$T_3$	: Temperatur di titik 3 ( $^{\circ}C$ )
$RH_1$	: RH di titik 1 (%)
$RH_2$	: RH di titik 2 (%)
$RH_3$	: RH di titik 3 (%)
$m_0$	: Berat sampel awal (g)
$m_A$	: Berat sampel pada rak A
$m_B$	: Berat sampel pada rak B
$t_1$	: Penimbangan berat sampel pertama (30 menit)
$t_2$	: Penimbangan berat sampel kedua (60 menit)
$t_3$	: Penimbangan berat sampel ketiga (90 menit)
$t_4$	: Penimbangan berat sampel keempat (120 menit)

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Properti Udara dan Tekanan .....	21
Tabel 2.2 Koefisien Diffusi.....	27
Tabel 3.1 Data Kalibrasi Alat Ukur <i>Temperature Humidity</i> .....	39
Tabel 3.2 Data Penelitian .....	41
Tabel 4.1 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Temperatur Heater .....	43
Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian.....	44
Tabel 4.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap RH.....	45
Tabel 4.4 Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Perubahan Massa .....	46
Tabel 4.5 Pengaruh Kecepatan Udara Terhadap Laju Perpindahan Massa .....	47
Tabel 4.6 Hubungan Waktu dengan Laju Penguapan Kadar Air pada Bahan .....	53

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perpindahan Panas Secara Konduksi .....	17
Gambar 2.2 Proses Perpindahan Panas Konveksi.....	18
Gambar 2.3 Batas Laminar dan Turbulen Aliran Pada Plat.....	19
Gambar 2.4 Grafik Yang Menunjukkan Koefisien Perpindahan Panas rata-rata aliran turbulen dan laminar .....	22
Gambar 2.5 Konveksi Bebas Yang Terjadi Pada Telur Panas.....	23
Gambar 2.6 Zat A Berdifusi Dengan Zat B (sebagai medium) Dalam Satuan Volume.....	23
Gambar 2.7 Lapis Batas Konsentrasi .....	30
Gambar 3.1 Skematis Alat Pengujian .....	32
Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian.....	33
Gambar 3.3 <i>Stopwatch</i> .....	34
Gambar 3.4 Neraca Analog.....	35
Gambar 3.5 <i>Anemometer</i> .....	35
Gambar 3.6 <i>Dimmer</i> .....	36
Gambar 3.7 <i>Temperature Humidity</i> HTC-2.....	37
Gambar 4.1 Skema pengukuran pada alat pengering.....	45
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Waktu Dengan Perubahan Massa pada rak pertama ( $m_A$ ) .....	50
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Waktu Dengan Perubahan Massa pada rak kedua ( $m_B$ ) .....	51
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Waktu dengan Laju Penguapan Kadar Air pada Bahan.....	53



## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran I : Perhitungan laju perpindahan massa
- Lampiran II : Desain alat pengering
- Lampiran III : Dokumentasi Penelitian

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Perkembangan dan kebutuhan masyarakat saat ini dalam bidang pangan beraneka ragam dan dinamis. Adanya berbagai alasan kepraktisan dalam menggunakan, kemudahan dalam sistem pengoperasian alat serta penyimpanannya. Keinginan untuk mengkonsumsi bahan makanan secara instan dan sudah dalam bentuk kemasan semakin tinggi. Fenomena yang demikian dapat kita amati dengan banyaknya produk serbuk ekstrak baik dari buah-buahan, sayuran, dan rempah-rempah semakin menjamur. Hal demikian dapat diminimalisir dengan cara dilakukan proses pengeringan agar produk tahan lama dan atau tidak cepat membusuk.

Akan tetapi proses pengeringan tidak mudah dilakukan. Karena selama proses pengeringan akan terjadi perubahan kualitas, baik secara fisik maupun kimia terutama disebabkan adanya panas yang berkepanjangan atau tidak teratur. Perubahan yang terjadi misalnya pada warna, semakin lama proses pemanasan akan semakin berubah menjadi kecoklatan bahkan kehitaman. Kemudian juga terjadi perubahan kimia dan fisika disebabkan enzimatik, serta karamelisasi (kerusakan zat gula yang terkandung di dalam bahan yang dikeringkan).

Saat ini banyak jenis alat pengering yang digunakan oleh masyarakat secara luas, baik industri maupun Usaha Kecil Menengah (UKM). Berbagai ragam model

alat pengering yang digunakan sesuai keinginan mulai dari metode pengeringan dengan sinar matahari, sampai dengan metode yang modern seperti *oven*, *microwave*, infra merah, sistem vakum, dan *freeze dryer*.

Pengeringan menggunakan sumber panas baik dari sumber listrik maupun bahan bakar lebih cepat dari pada pengeringan dengan sinar matahari. Dengan sistem tersebut menghasilkan produk yang bersih, kadar air dapat dikontrol, serta prosesnya lebih cepat, namun adakalanya kualitas produk menurun disebabkan adanya panas yang berlebih, waktu pengeringan lama, aliran udara pengering tidak merata karena menggunakan aliran vertikal sehingga aliran udara yang terjadi hanya melalui samping kanan, kiri, depan, dan belakang, belum ada kontrol *Relative Humidity* dan temperature, serta tidak ada pengaturan kecepatan aliran udara yang masuk ke ruang pengering. Oleh karena itu bahan yang dikeringkan membutuhkan waktu sangat lama, dan tidak seluruhnya kering secara bersamaan. Hal demikian berdasarkan observasi di lapangan oleh penulis.

Maka dari itu penelitian ini menggunakan alat rancang bangun model *tray dryer* untuk pengeringan dengan arah aliran udara horisontal dengan temperatur *heater* 50 °C yang diharapkan bisa menghasilkan produk berkualitas, proses pengeringan lebih cepat dan efisien.

Muhandri dkk (2015: 174), menyatakan kurva pengeringan dengan temperatur dan kecepatan aliran udara secara horisontal terdistribusi lebih menyeluruh atau menyebar rata dibandingkan dengan kurva pengeringan pada posisi vertikal, dan untuk memperoleh kadar air akhir 10 % pada pengeringan posisi vertikal membutuhkan waktu yang cukup lama.

Penelitian dilakukan secara eksperimen menggunakan mesin atau alat rancang bangun model *tray dryer* yang di *design* menurut posisi arah aliran udara panas yang mengalir secara horisontal. Diharapkan dalam proses pengeringan ini dapat menghemat waktu, dengan hasil produk yang berkualitas, serta memenuhi kebutuhan masyarakat akan bahan baku makanan melalui proses pengeringan secara modern dan tidak mengurangi nutrisi yang terkandung didalamnya.

Penelitian ini menggunakan bahan pangan ubi kayu atau singkong. Ubi kayu adalah tanaman yang mudah tumbuh subur di tanah Indonesia dan merupakan bahan pangan yang dikonsumsi masyarakat luas karena mengandung karbohidrat selain padi dan jagung (Yanda, 2014: 101). Saat memasuki musim panen, ketersediaan bahan baku ubi kayu melimpah sehingga tidak mungkin akan habis saat itu juga dan perlu penyimpanan yang intensif. Penyimpanan secara langsung juga akan membawa dampak kerugian jika suatu saat terjadi pembusukan karena tidak bisa bertahan lama. Agar bertahan lama maka dilakukan pengolahan dengan cara dikeringkan terlebih dahulu menggunakan alat pengering modern model *tray dryer*.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas dapat diidentifikasi permasalahannya, yaitu:

1. Bahan yang dikeringkan sebagian tidak terlewati udara pengering
2. Tidak terdapat pengaturan temperatur dan kecepatan aliran udara pengering.
3. Arah aliran udara ke ruang pengering tidak merata sehingga membutuhkan waktu cukup lama.

4. Perpindahan massa dipengaruhi oleh aliran udara
5. Perpindahan massa dipengaruhi oleh *relative humidity*
6. Perpindahan massa dipengaruhi oleh luas bidang pengeringan
7. Perpindahan massa dipengaruhi oleh temperatur *heater*, dan
8. Perpindahan massa dipengaruhi oleh waktu

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Arah aliran udara dialirkan secara horisontal
2. Temperatur *heater* dikontrol sebesar 50 °C, dan RH kurang dari 60 %
3. Kecepatan aliran udara sebesar 1 m/s, 1,5 m/s, dan 2 m/s
4. Waktu yang digunakan adalah 2 jam

### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah mengetahui laju perpindahan massa bahan karena adanya variasi kecepatan udara didalam proses pengeringan. Rumusan masalah yang dapat di ambil dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara terhadap perpindahan massa pada bahan yang dikeringkan?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan udara terhadap temperatur *heater* dan RH?
3. Bagaimana hubungan perpindahan massa dengan waktu?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara terhadap perpindahan massa pada bahan yang dikeringkan.
2. Untuk mengetahui pengaruh kecepatan udara terhadap perubahan temperatur *heater* dan RH.
3. Untuk mengetahui hubungan perpindahan massa dengan waktu.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Bagi peneliti: Mendapatkan pengetahuan tentang pengeringan menggunakan alat pengering model *tray dryer* untuk pengeringan bahan pangan.
2. Bagi pembaca: Untuk menambah pengetahuan pembaca mengenai alat pengering model *tray dryer* dengan aliran udara horizontal.
3. Bagi masyarakat: Sebagai peluang usaha dibidang pengeringan bahan makanan dan mengembangkan kemampuan dalam bidang industri baik skala kecil maupun skala besar.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Yani dan Fajrin (2013) melakukan penelitian tentang karakteristik pengeringan biji kopi berdasarkan variasi kecepatan aliran udara menggunakan kipas angin atau *fan* (2 m/s, 3,5 m/s, 4,5 m/s) pada alat pengering *solar dryer*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *solar dryer* yang terdiri atas kolektor guna menyerap sinar matahari, kemudian diteruskan ke ruang pengeringan. Dinding pengering terbuat dari akrilik yang berfungsi untuk menimbulkan efek rumah kaca, dan di atas ruang pengering terdapat kipas angin/*fan* untuk mengeluarkan udara dari dalam ruang pengeringan ke lingkungan. Hasil yang didapatkan dari penelitian membuktikan bahwa meningkatnya aliran udara dengan kecepatan 4,5 m/s proses pengeringan lebih cepat.

Pakarti dan Ichسانی (2013) dalam studi eksperimen mengenai pengaruh variasi kecepatan udara dan temperatur *air heater* terhadap karakteristik pengeringan batubara pada *coal dryer* dengan *tube heater* tersusun *aligned*. Metode yang digunakan adalah dengan menganalisa efek kecepatan udara masuk dengan *moisture content* pada batubara. Variasi udara inlet yang diberikan adalah 1,8 m/s, 1,61 m/s, dan 1,45 m/s dimana hasil menunjukkan kecepatan udara inlet 1,8 m/s berada paling bawah kemudian disusul di atasnya kecepatan udara inlet 1,61 m/s dan 1,45 m/s, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju pengeringan maka *moisture content* semakin berkurang.

Nafis dkk (2015) menganalisa aliran fluida (udara) pada alat pengering produk pertanian dengan memanfaatkan panas buang tungku boiler PLT-biomassa. Metode yang digunakan adalah dengan pengambilan data di lapangan dan kemudian disimulasikan menggunakan perangkat komputer. Hasil yang diperoleh dari pengukuran temperatur rak atau *tray* dan kecepatan aliran udara *fan* dengan menggunakan simulasi konstruksi sangat berbeda dengan hasil yang disimulasikan dengan penambahan plat. Desain konstruksi yang sudah ada dengan kecepatan aliran udara *fan* sebesar 2,2 m/s dan 3,7 m/s selisih temperatur tiap *tray* adalah 16,5 % dan 11,5 %, maka dapat dikatakan distribusi panas yang dialirkan belum baik atau merata. Penambahan plat pada mesin pengering dan saluran buang bagian atas dan bawah tidak tertutup dengan kecepatan aliran udara *fan* 3,7 m/s selisihnya sebesar 2,5 % tiap *tray*-nya menghasilkan temperatur dan distribusi aliran udara merata.

Syahrul dkk (2016) melakukan eksperimen untuk memvariasikan kecepatan udara pengering (5 m/s, 6 m/s, 7 m/s) dan massa jagung (0,5 kg, 1 kg, 1,5 kg) terhadap waktu yang dibutuhkan selama proses pengeringan berlangsung. Metode yang digunakan adalah menggunakan alat pengering *fluidized bed* dengan komponen pendukungnya. Hasil yang didapatkan dalam eksperimen tersebut menyatakan bahwa pada kecepatan udara pengering 7 m/s, waktu yang dibutuhkan lebih sedikit/cepat. Pengeringan bahan jagung dengan kecepatan udara 5 m/s membutuhkan waktu lebih lama karena semakin tinggi kecepatan udara pengering yang dikeluarkan akan semakin mempercepat waktu untuk proses pengeringan, sehingga kadar air didalam bahan akan lebih mudah berpindah ke lingkungan.



Permana dan Prabowo (2016) melakukan studi eksperimen tentang pengaruh kecepatan udara pengering *inlet chamber* pada *swirling fluidized bed dryer* terhadap karakteristik pengeringan batubara. Metode yang digunakan adalah memberikan variasi kecepatan aliran udara pengering pada *inlet chamber* sebesar 2 m/s, 2,5 m/s, dan 3 m/s. Kecepatan aliran udara diukur dengan cara mengkalibrasi *pitot static tube* dengan manometer dan *different pressure transmitter* dan DAQ data logger untuk menentukan kecepatan aliran udara pada selongsong sebelum masuk ke *inlet chamber*. Hasil dari eksperimen menunjukkan bahwa kecepatan udara pada 3 m/s mempunyai nilai penurunan *relative humidity (RH)* paling besar yaitu dari 54,7 % pada menit ke-1 menuju 24,6 % pada menit ke-31. Penurunan *relative humidity* dikarenakan massa uap air yang berpindah ke udara dari bahan batubara semakin banyak dibandingkan pada kecepatan 2,5 m/s dan 2 m/s.

Syahrul dkk (2017) juga melakukan penelitian untuk membandingkan pengaruh variasi kecepatan udara (4 m/s, 5 m/s, 6 m/s) dan variasi massa gabah (1 kg, 2 kg, 3 kg) terhadap waktu pada proses pengeringan. Metode yang digunakan adalah dengan menggunakan alat pengering fluidisasi (*fluidized bed*) dengan berbagai komponen lainya seperti *thermocouple*, *blower*, kompor, *anemometer*, *moisture meter*, neraca digital, gas LPG 3 kg, *stopwatch*, dan mistar. Hasil yang didapatkan dalam penelitian menyebutkan bahwa waktu yang dibutuhkan selama proses pengeringan bervariasi sesuai variasi kecepatan udara pengering dan massa bahan yang dikeringkan. Waktu tercepat yang dibutuhkan untuk mengeringkan bahan 2 kg dengan kecepatan udara 6 m/s adalah 30 menit. Sedangkan pada kecepatan 4 m/s udara pengering dengan massa 1 kg, 2 kg, dan 3 kg rata-rata

membutuhkan waktu 50 menit. Hal ini dikarenakan kecepatan udara pengering di bawah 6 m/s, bahan belum terfluidisasi sehingga waktu yang dibutuhkan lama.

Putra N dkk (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh temperatur dan kecepatan udara pada proses pengeringan. Metode yang digunakan adalah dengan mengatur temperatur dan kecepatan udara dengan menggunakan sistem pengering, dimana alat pengering tersebut terdiri dari saluran udara berdimensi 30 x 9 x 9 cm dengan meletakkan kipas pada salah satu saluran udara dan kedua elemen pemanas diletakkan di dalam saluran udara. Keluaran dari temperatur dan kecepatan udara diukur bersamaan dengan *anemometer* dan termokopel. Kecepatan udara yang digunakan sebesar 1,6 m/s-2,8 m/s dengan rentang 0,4 m/s. Hasil menunjukkan bahwa proses pengeringan paling efektif yaitu pada kecepatan udara 2,8 m/s dan temperatur 128°C dengan laju pengeringan sebesar 25 gr/jam pada objek dengan ketebalan 2 cm dan 45 gr/jam pada ketebalan 4 cm.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Konsep dasar pengeringan**

Pengeringan merupakan proses sederhana yaitu mengurangi kandungan air dari suatu bahan yang dikeringkan, seperti buah-buahan, sayuran, umbi-umbian, sampai pada tingkat tertentu sehingga dapat mencegah pembusukan dan aman disimpan dalam jangka waktu yang lama. Proses pengeringan terjadi secara kompleks antara panas dan transfer massa (Tzempelikos, dkk., 2014:3). Pengeringan adalah salah satu hal terpenting dalam mengolah makanan yang bertujuan untuk mengurangi jumlah kelembaban dalam produk makanan dengan cara menghambat aktifitas mikroba dan enzimatik yang terkait dengan penurunan

kualitas produk (Sabarez, 2015). Proses pengeringan tergantung pada a) panas yang cukup agar tidak lembab, b) tidak sampai matang atau gosong, c) sirkulasi udara yang memadai, d) mengontrol temperatur udara dalam ruang pengering agar tetap terjaga dengan baik (Wutthithanyawat & Nawadee, 2016: 65).

Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan nilai aktivitas air yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatis, dan kimiawi. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi atau menurunkan kadar air di dalam bahan yang dikeringkan sehingga menjadi tahan lama, ukurannya menjadi kecil sehingga mudah dalam pengemasan, serta hemat biaya, (Risdianti dkk, 2016: 4).

Proses pengeringan dilakukan dengan mengatur temperatur, kelembaban (*humidity*), dan aliran udara. Perubahan kadar air dalam bahan pangan disebabkan oleh perubahan energi dalam sistem. Maka dari itu dilakukan perhitungan terhadap neraca massa dan neraca energi untuk mencapai keseimbangan. Alasan yang mendukung proses pengeringan dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme adalah untuk mempertahankan mutu produk terhadap perubahan fisik dan kimiawi yang ditentukan oleh perubahan kadar air, mengurangi biaya penyimpanan, pengemasan dan transportasi untuk mempersiapkan produk kering yang akan dilakukan pada tahap berikutnya, memperpanjang umur simpan dan memperbaiki kegagalan produk. Produk kering dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam pembuatan produk baru, serta untuk persediaan dalam jangka panjang jika terjadi kelangkaan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan pengeringan adalah:

### 1. Luas permukaan

Umumnya, bahan pangan yang dikeringkan mengalami pengecilan ukuran, baik dengan cara diiris, dipotong, atau digiling. Proses pengecilan ukuran dapat mempercepat proses pengeringan dengan mekanisme sebagai berikut:

- a) Pengecilan ukuran bahan memperluas permukaan yang dapat kontak dengan medium pemanas menjadi lebih baik.
- b) Luas permukaan penguapan yang semakin besar menyebabkan air lebih mudah berdifusi atau menguap dari bahan panas sehingga penguapan air lebih cepat dan bahan lebih cepat kering.
- c) Ukuran yang lebih kecil menyebabkan penurunan jarak yang harus ditempuh oleh panas. Panas harus bergerak menuju pusat bahan pangan yang dikeringkan. Demikian juga jarak pergerakan air dari pusat bahan pangan ke permukaan bahan menjadi lebih pendek.

### 2. Temperatur

Umumnya semakin besar perbedaan temperatur antara medium pemanas dengan bahan pangan, maka perpindahan panas ke bahan pangan semakin cepat sehingga penguapan air dari bahan pangan juga lebih cepat. Semakin tinggi temperatur udara, semakin banyak uap air yang dapat ditampung oleh udara tersebut sebelum terjadi kejenuhan. Berbagai penelitian yang dilakukan, temperatur udara pengering merupakan faktor yang sangat penting untuk proses pengeringan (Tzempelikos, *et al.*, 2014: 3).

### 3. Kecepatan aliran udara

Kecepatan aliran udara pengering adalah salah satu dari beberapa faktor yang

berpengaruh terhadap proses pengeringan secara mekanik. Dimana udara pengering juga berpengaruh pada kecepatan difusi panas ke dalam molekul bahan sehingga temperatur di dalam molekul bahan menjadi meningkat. Peningkatan tersebut menyebabkan tekanan uap air dalam molekul bertambah sehingga air yang terkandung dalam bahan mudah keluar ke permukaan bahan (Mahayana, 2012: 114).

#### 4. Kelembaban udara

Kelembaban udara menentukan kadar air akhir bahan pangan setelah dikeringkan. Bahan pangan yang telah dikeringkan dapat menyerap air dari udara di sekitarnya. Jika udara di sekitar bahan tersebut mengandung uap air tinggi atau lembab, maka kecepatan penyerapan uap air oleh bahan pangan tersebut akan semakin cepat. Proses penyerapan akan berhenti sampai kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan tersebut tercapai. Kesetimbangan kelembaban nisbi bahan pangan adalah kelembaban pada temperatur tertentu dimana tidak terjadi penguapan air dari bahan pangan ke udara, serta tidak terjadi penyerapan uap air dari udara oleh bahan pangan.

#### 5. Lama pengeringan

Lama pengeringan menentukan lama kontak bahan dengan panas. Karena sebagian besar bahan pangan sensitif terhadap panas. Maka waktu pengeringan yang digunakan harus diperhatikan agar bahan tidak mengalami *case hardening* atau mengeras dengan temperatur yang digunakan.

Menurut Tanggasari dalam Syahrul dkk (2016), faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan ada dua golongan yaitu (1) udara pengering, (2) sifat

bahan yang dikeringkan. Faktor pertama adalah a) temperatur, b) kecepatan aliran udara pengering, dan c) kelembaban udara. Faktor kedua adalah a) dimensi bahan, b) kandungan air awal bahan, dan c) tekanan parsial di dalam bahan.

Menurut Ramelan (1996) dalam Yanda (2014: 104), aliran udara pengering, temperatur dan kelembaban udara adalah faktor yang menentukan proses naiknya kandungan air di dalam bahan yang dikeringkan. Sifat dari bahan itu sendiri juga mempengaruhi saat proses pengeringan, seperti ukuran bahan yang akan dikeringkan.

### **2.2.2 Sifat-sifat udara**

#### **1. Kelembaban relatif atau *relative humidity* (RH)**

*Relative humidity* yaitu perbandingan fraksi molekul uap air pada udara basah dengan fraksi molekul uap air jenuh pada temperatur *dry bulb* pada tekanan yang sama (Ferianto, 2013: 2).

#### **2. Temperatur bola kering dan temperatur bola basah**

Termometer yang lazim digunakan untuk mengukur temperatur adalah termometer bola kering. Sensor panas (*bulb*) adalah termometer yang digunakan untuk mengukur temperatur yang dijaga dalam kondisi kering, maka termometernya disebut sebagai termometer bola kering. Hasil pengukuran temperatur dengan alat ini disebut sebagai temperatur bola kering. Temperatur dikatakan pada keadaan biasa apabila ukuran temperatur tersebut tidak diberi penjelasan khusus maka dianggap sebagai ukuran bola kering, contoh: 20<sup>0</sup>C bola kering atau cukup dengan 20<sup>0</sup>C, bila sensor suhu (*bulb*) termometer yang digunakan sengaja dikondisikan menjadi basah, yaitu sengaja ditutup oleh kain yang

higroskopis maka ukuran temperatur yang diperoleh disebut sebagai ukuran temperatur bola basah. Pada kondisi biasa maka adanya cairan yang melingkupi sensor suhu ini menunjukkan skala suhu bola basah yang akan lebih rendah dengan penunjukkan suhu bola kering. Akan tetapi bila kandungan uap air di udara mencapai titik maksimalnya (titik jenuh) maka penunjukkan kedua jenis termometer tersebut menjadi sama.

Bahan dalam keadaan jenuh maka cairan yang ada disekeliling bulb termometer tidak dapat menguap lagi sehingga penunjukkan termometer basah menjadi sama dengan termometer bola kering. Kondisi udara ruang apabila belum mencapai saturasi maka penunjukkan termometer bola basah selalu lebih rendah dari bola kering, akibat adanya efek penguapan cairan yang terjadi pada termometer bola basah. Alat khusus yang dapat digunakan untuk mengukur bola basah dan bola kering disebut *Slink Psychrometer*.

### 3. Temperatur saturasi (*Saturation Temperature*)

Temperatur saturasi merupakan suhu suatu fluida (zat cair) berubah dari fase cair menjadi fase uap atau gas bahkan kebalikannya, yaitu dari fase gas berubah menjadi fase cair, disebut suhu saturasi. *Liquid* yang berada pada suhu saturasi disebut *liquid* saturasi dan uap atau gas yang berada pada suhu saturasi disebut uap saturasi, satu hal penting yang perlu diketahui adalah suhu saturasi untuk *liquid* (suhu dimana *liquid* akan menguap) dan suhu saturasi uap (suhu dimana uap mulai mengembun) adalah sama pada suatu tekanan tertentu.

Suhu saturasi adalah suhu maksimum *liquid* dan suhu minimum uap yang dapat dicapai. Usaha untuk menaikkan suhu *liquid* di atas suhu saturasi hanya akan

menyebabkan menguapnya beberapa bagian dari *liquid*. Kejadian yang sama akan terjadi, bila adanya upaya untuk menurunkan suhu uap di bawah suhu saturasi uap, hanya akan menyebabkan beberapa bagian uap mengembun.

#### 4. Volume jenis

Volume jenis adalah perbandingan antara volume dengan massa zat.

#### 5. *Entalphy*

*Entalphy* adalah kandungan panas yang terkandung dalam zat. Setiap zat yang ada di bumi pasti memiliki entalphy atau energi panas yang terkandung. Entalphy memiliki satuan yaitu  $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{K}$ .

#### 6. Pengukuran kelembaban

Kelembaban suatu aliran massa gas didapatkan dengan mengukur titik embun atau temperatur bola basah atau dengan cara absorpsi langsung.

#### 7. Metode titik embun

Sebuah piring mengkilap yang dingin apabila dimasukkan ke dalam gas yang kelembabannya tidak diketahui dan temperatur piringan itu berangsur-angsur diturunkan, sehingga piringan tersebut akan mencapai temperatur dimana terjadi kondensasi kabut pada permukaan mengkilap pada waktu pertama kali terbentuk, dan titik tersebut adalah titik embun. Temperatur adalah kesetimbangan antara uap di dalam fasa gas dan fasa cair. Skala termometer diperiksa sambil menaikkan temperatur piringan itu perlahan-lahan dan mencatat temperatur dimana kabut menghilang. Kelembaban lalu dibaca dari grafik kelembaban pada temperatur rata-rata dimana kabut tersebut mulai terbentuk dan temperatur dimana kabut mulai menghilang.



## 8. Metode psikrometrik

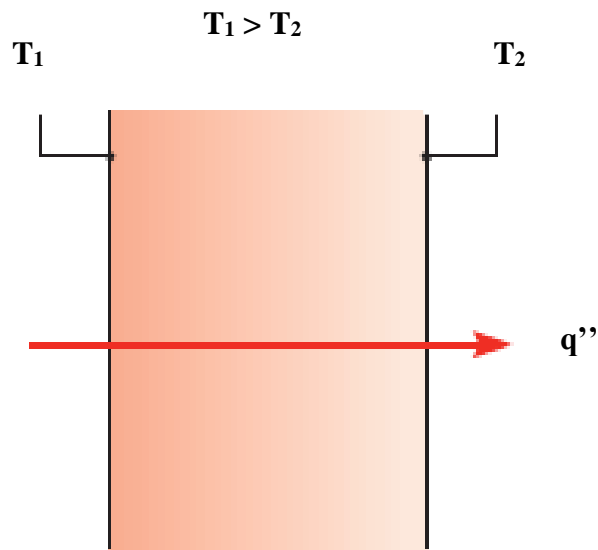
Metode psikrometrik yaitu suatu cara yang umum digunakan untuk mengukur kelembaban adalah dengan menentukan temperatur bola basah dan temperatur bola kering secara bersamaan. Kelembaban didapatkan dengan menentukan garis psikrometrik yang memotong garis jenuh pada temperatur bola basah.

### **2.2.3 Perpindahan panas**

Perpindahan panas terjadi karena perbedaan temperatur. Perpindahan panas itu sendiri dapat terjadi melalui 3 cara yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas yang tidak melibatkan aliran mediumnya, sementara perpindahan panas konveksi melibatkan aliran mediumnya, dan radiasi tidak melibatkan medium perantara tetapi secara langsung menggunakan perambatan elektromagnetik (Cengel, 2002: 1).

#### **2.2.3.1 Konduksi**

Konduksi adalah perpindahan panas dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah sebagai hasil interaksi antar partikel tersebut. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, dan gas. Pada partikel gas dan cair, konduksi terjadi karena adanya tumbukan dan difusi antar molekul selama terjadi gerakan secara acak. Sedangkan pada zat padat, terjadi karena kombinasi getaran molekul dalam kisi dan pengangkutan energi oleh elektron bebas (Incropera 2011<sup>7ed</sup>: 2). Perpindahan panas konduksi dapat dilihat pada gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 2.1. Perpindahan panas konduksi (Incropera 2011<sup>7ed</sup>: 2)

Gambar 2.1 di atas merupakan perpindahan panas yang dapat dihitung berdasarkan hukum Fourier sesuai persamaan 2.2 (Incropera, 2011<sup>7ed</sup>: 1.2).

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.1)$$

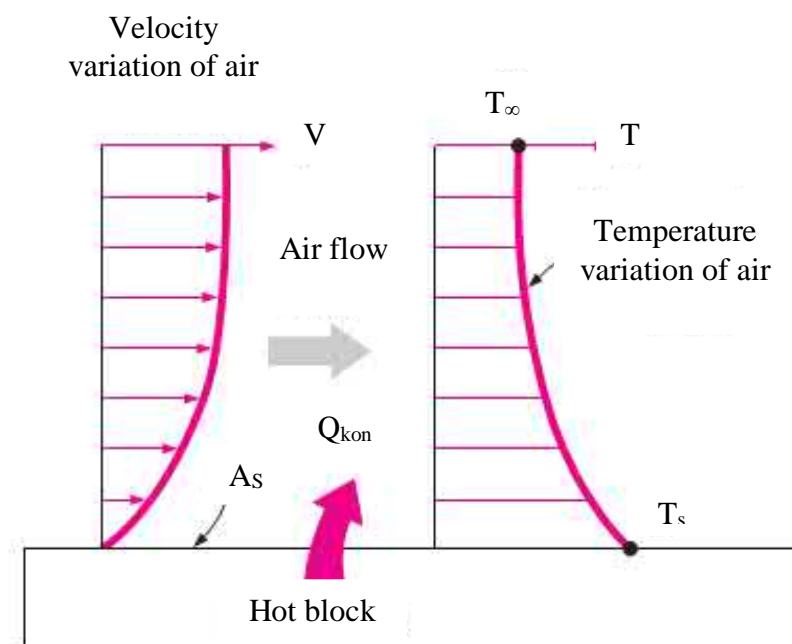
Dimana:

- $q''$  = Laju perpindahan panas konduksi (W)
- $k$  = Konduktivitas thermal bahan (W/m. K)
- $T_1$  = Temperatur pada titik 1(K)
- $T_2$  = Temperatur pada titik 2 (K)
- $L$  = Ketebalan dinding benda (m)

### 2.2.3.2 Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas antara permukaan padat yang berbatasan dengan fluida yang mengalir, dan itu melibatkan efek dari konduksi dan pergerakan suatu fluida. Fluida tersebut bisa dalam fasa cair atau fasa gas. Pergerakan fluida yang lebih cepat akan memperbesar perpindahan panas konveksi (Cengel, 2002: 25). Syarat utama mekanisme ini secara lebih jelas dapat dilihat pada

gambar (2.2) dimana temperatur permukaan ( $T_s$ ) masih lebih tinggi daripada temperatur lingkungan ( $T_\infty$ ). Anggap udara lingkungan mengalir menuju permukaan plat. Partikel udara yang tepat bersentuhan dengan plat akan menerima perpindahan panas secara konduksi dari plat, akibatnya temperatur akan naik. Kemudian aliran udara akan mengangkut udara yang lebih panas ini untuk digantikan oleh udara berikutnya. Fakta ini menunjukkan bahwa di dalam perpindahan panas konveksi terdapat perpindahan panas konduksi antar partikelnya. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2. Proses perpindahan panas konveksi (Cengel, 2002:26)

Gambar 2.2 di atas secara matematis, dapat dirumuskan sebagai berikut (Cengel, 2002: 1-24):

$$\dot{Q}_{kon} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

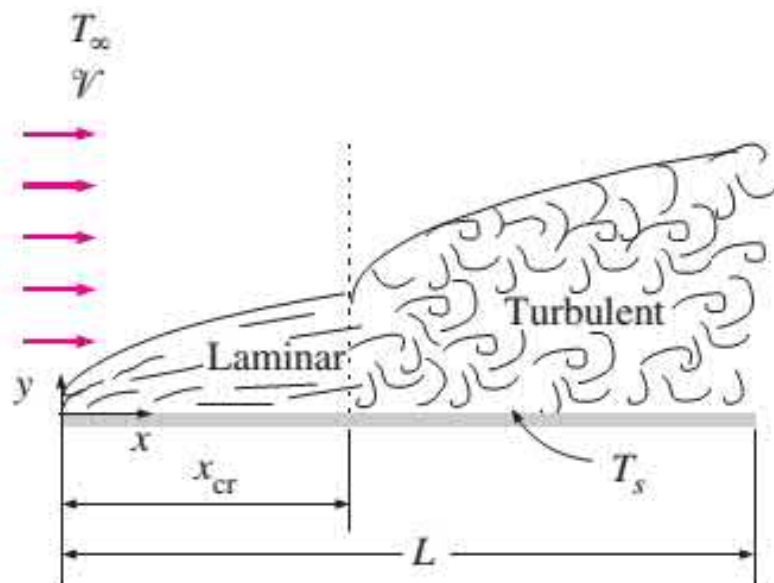
Dimana:

- $\dot{Q}_{kon}$  = Laju perpindahan panas konveksi (W)  
 $h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>. K)  
 $A_s$  = Luas penampang perpindahan panas (m<sup>2</sup>)  
 $T_s$  = Temperatur permukaan benda (K)  
 $T_\infty$  = Temperatur fluida yang mengalir (K)

**Konveksi dibagi menjadi dua, yaitu:**

1. Konveksi Paksa

Konveksi paksa merupakan konveksi yang diakibatkan oleh fluida yang dialirkan pada permukaan plat. Fluida tersebut di paksa untuk mengalir dengan bantuan alat tertentu, seperti blower dengan kecepatan yang telah ditentukan. Aliran fluida pada plat dengan panjang  $L$  pada suatu arah aliran dapat ditunjukkan pada gambar (2.3) di bawah ini.



Gambar 2.3. Batas laminar dan turbulen suatu aliran diatas plat datar (Cengel, 2002:371)

Gambar 2.3 di atas, koordinat  $x$  dihitung sepanjang permukaan plat dari sisi terdepan pada arah aliran. Fluida mengenai permukaan plat dalam arah  $x$  dengan kecepatan  $v$  dan temperatur  $T_\infty$  yang seragam. Awal kecepatan bermula dengan

batas aliran laminar, tetapi jika plat cukup panjang, aliran menjadi turbulen pada jarak  $x_{cr}$  dari permukaan depan dimana bilangan *Reynold* memperoleh nilai kritis untuk daerah transisi.

Transisi dari aliran laminar ke turbulen tergantung pada geometri, kekasaran permukaan, kecepatan, temperatur permukaan, jenis fluida dan lainnya yang menjadi karakter penentu bilangan *Reynold*. Bilangan *Reynold* pada jarak  $x$  dari sisi terdepan plat datar dinyatakan dalam persamaan 2.4 berikut (Cengel, 2002: 372).

$$\text{Re} = \frac{\rho U x}{\mu} = \frac{U x}{\nu} \quad (2.3)$$

Dimana:

Re	= Bilangan <i>Reynold</i>
$\rho$	= Massa jenis fluida (kg/m <sup>3</sup> )
$U$	= Kecepatan fluida mengalir (m/s)
$x$	= Jarak yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik $x$ (m)
$\mu$	= Viskositas fluida (N.s/m <sup>2</sup> )
$\nu$	= Viskositas kinematik fluida (m <sup>2</sup> /s)

Perlu diingat bahwa nilai bilangan *Reynold* bervariasi pada sebuah plat datar di sepanjang aliran. Aliran transisi dari laminar ke turbulen diperoleh dengan persamaan 2.5 sebagai berikut (Cengel, 2002: 372).

$$\text{Re}_{cr} = \frac{\rho V x_{cr}}{\mu} = 5 \times 10^5 \quad (2.4)$$

Dimana:

$\text{Re}_{cr}$	= Bilangan <i>Reynold</i> yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik $cr$
$x_{cr}$	= Jarak yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik $cr$ (m).

Untuk menentukan besarnya bilangan *Reynold*, pada table 2.1 terdapat nilai viskositas kinematik yang telah ditentukan berdasarkan temperatur dan tekanan.

Tabel 2.1. Properti udara dengan tekanan 1 atm (Kothandaraman, 2006\_3<sup>rd</sup>: 709)

Temperature <i>t</i> °C	Density <i>ρ</i> kg/m <sup>3</sup>	Coefficient of Viscosity <i>μ</i> × 10 <sup>6</sup> Ns/m <sup>2</sup> s	Kinematic Viscosity <i>ν</i> × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /s	Thermal Diffusivity <i>α</i> × 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> /s	Prandtl Number <i>Pr</i>	Specific Heat <i>c</i> J/kgK	Thermal Conduc- tivity <i>k</i> W/mK
-50	1.584	14.61	9.23	12.644	0.728	1013	0.02035
-40	1.515	15.20	10.04	13.778	0.728	1013	0.02117
-30	1.453	15.69	10.80	14.917	0.723	1013	0.02198
-20	1.395	16.18	11.61	16.194	0.716	1009	0.02279
-10	1.342	16.67	12.43	17.444	0.712	1009	0.02361
0	1.293	17.16	13.28	18.806	0.707	1005	0.02442
10	1.247	17.65	14.16	20.006	0.705	1005	0.02512
20	1.205	18.14	15.06	21.417	0.703	1005	0.02593
30	1.165	18.63	16.00	22.861	0.701	1005	0.02675
40	1.128	19.12	16.96	24.306	0.699	1005	0.02756
50	1.093	19.61	17.95	25.722	0.698	1005	0.02826
60	1.060	20.10	18.97	27.194	0.696	1005	0.02966
70	1.029	20.59	20.02	28.556	0.694	1009	0.03047
80	1.000	21.08	21.09	30.194	0.692	1009	0.03074
90	0.972	21.48	22.10	31.889	0.690	1009	0.03128
100	0.946	21.87	23.13	33.639	0.688	1009	0.03210
120	0.898	22.85	25.45	36.833	0.686	1009	0.03338
140	0.854	23.73	27.80	40.333	0.684	1013	0.03489
160	0.815	24.52	30.09	43.894	0.682	1017	0.03640
180	0.779	25.30	32.49	47.500	0.681	1022	0.03780
200	0.746	25.99	34.85	51.361	0.680	1026	0.03931
250	0.674	27.36	40.61	58.500	0.677	1038	0.04268
300	0.615	29.71	48.20	71.556	0.674	1047	0.04605

Bilangan *Nusselt* lokal pada posisi *x* untuk aliran laminar sepanjang plat datar ditentukan dengan turunan persamaan energi (Cengel, 2002: 373) yaitu:

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0,332 \cdot Re_x^{0.5} \cdot Pr^{1/3} \quad (2.5)$$

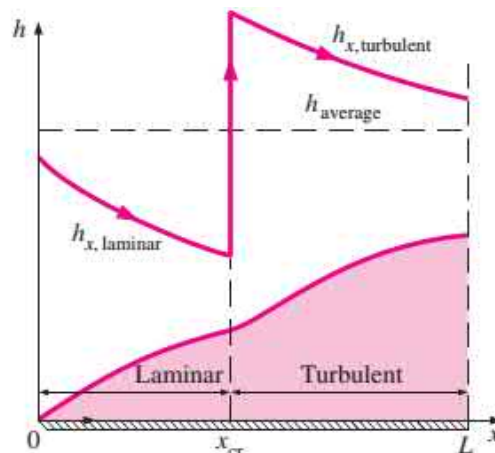
Dimana:

- $Nu_x$  = Bilangan *Nusselt* lokal
- $h_x$  = Koefisien perpindahan panas konveksi lokal pada titik *x* (W/m<sup>2</sup>. K)
- $k$  = Konduktivitas *thermal* bahan (W/m. K)
- $x$  = Jarak yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik *x* (m)
- $Re_x$  = Bilangan *Reynold* lokal
- $Pr$  = Bilangan *Prandtl*

Sedangkan bilangan *Nusselt* lokal pada lokasi *x* untuk aliran turbulen pada plat datar dihitung dengan persamaan 2.7 sebagai berikut (Cengel, 2002: 373).

$$Nu_x = \frac{h_x x}{k} = 0,0296 \cdot Re_x^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \quad (2.6)$$

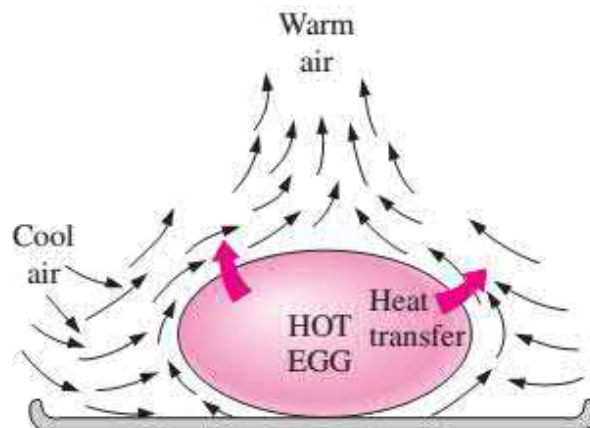
Persamaan laminar digunakan apabila bilangan *Reynold* di bawah  $5 \times 10^5$  dengan nilai  $Pr > 0,6$ . Hubungan antara koefisien rata-rata perpindahan panas terhadap jenis aliran dapat dilihat pada gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4. Grafik menunjukkan koefisien perpindahan panas rata-rata aliran turbulen dan laminar (Cengel, 2002: 374)

## 2. Konveksi Bebas

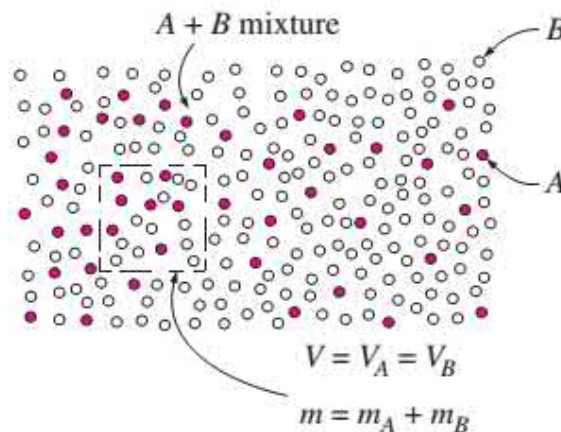
Konveksi bebas atau natural terjadi karena fluida yang berubah densitasnya dikarenakan proses pemanasan sehingga fluida dapat bergerak naik. Radiator panas yang digunakan untuk memanaskan ruang merupakan suatu contoh peranti praktis yang memindahkan kalor dengan konveksi bebas. Gerakan fluida dalam konveksi bebas, baik fluida gas maupun cair terjadi karena gaya apung (*buoyancy force*) yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan. Gaya apung ini tidak akan terjadi apabila fluida tidak mengalami suatu gaya dari luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas, seperti terlihat pada gambar 2.5. Gaya apung yang menyebabkan arus konveksi bebas disebut gaya badan (*body forces*).



Gambar 2.5. Konveksi bebas pada telur panas (Cengel, 2002: 460)

#### 2.2.4 Konsentrasi

Salah satu gaya pendorong (*driving fore*) terjadinya perpindahan massa adalah konsentrasi. Beberapa cara mendefinisikan konsentrasi, misalnya dalam sebuah ruang volume ( $V$ ) hanya terdapat dua jenis zat A dan zat B, yang masing-masing massanya disebut  $m_a$  dan  $m_b$  dan jika dijumlahkan disebut  $m$ , dapat dilihat pada gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6. Zat A berdifusi dengan zat B (sebagai medium) dalam satuan volume (Cengel, 2002: 722)

Gambar 2.6 di atas, massa dan volume masing-masing zat dapat ditampilkan. Sebagai contoh jika udara dianggap hanya terdiri dari udara kering dan



uap air atau komponen lainya diabaikan. Zat A dapat dimisalkan sebagai udara dan zat B adalah uap air yang terkandung dalam udara, serta konsentrasi dapat dinyatakan dalam dua jenis, yaitu a) konsentrasi dengan basis massa dan b) konsentrasi dengan basis mol, dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

**a. Konsentrasi Basis Massa**

Jika dinyatakan dengan basis massa, konsentrasi zat A di dalam ruang tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut (Cengel, 2002: 722).

$$\rho_i = \frac{m_i}{V} \quad (2.7)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \rho &= \text{Kerapatan atau density (kg/m}^3\text{)} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ V &= \text{Volume (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, konsentrasi untuk zat B juga dapat dirumuskan. Sementara konsentrasi total dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut (Cengel, 2002: 722).

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.8)$$

Berdasarkan persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa konsentrasi zat merupakan penjumlahan konsentrasi masing-masing komponennya.

Konsentrasi massa juga dapat dinyatakan dengan fraksi massa. Gambar 2.6, konsentrasi zat A dalam bentuk fraksi massa dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut:

$$w_A = \frac{m_A}{m} = \frac{\rho_A}{\rho} \quad (2.9)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} w &= \text{Fraksi massa} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ \rho &= \text{Kerapatan atau } \textit{density} \text{ (kg/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

### b. Konsentrasi Basis Mol

Adakalanya konsentrasi tidak dinyatakan dengan basis massa, tetapi juga dengan jumlah mol. Gambar 2.6, mol zat A, mol zat B, dan mol total masing-masing dinyatakan dengan  $N_A$ ,  $N_B$ , dan  $N$ , maka konsentrasi masing-masing dalam basis mol dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$C_A = \frac{N_A}{V} \text{ dan } C_B = \frac{N_B}{V} \quad (2.10)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} C &= \text{Konsentrasi mol (mol/m}^3\text{)} \\ N &= \text{Jumlah mol (mol)} \end{aligned}$$

Konsentrasi juga dapat dinyatakan dengan fraksi mol dan dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$y_A = \frac{N_A}{N} = \frac{C_A}{C} \quad (2.11)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} y &= \text{Fraksi mol} \\ N &= \text{Jumlah mol (mol)} \\ C &= \text{Konsentrasi mol (mol/m}^3\text{)} \end{aligned}$$

Kedua besaran yang disebutkan di atas, konsentrasi basis massa dan konsentrasi basis mol dapat dihubungkan dengan menggunakan parameter berat molekul, yang disimbolkan dengan  $MR$ . Persamaan ini dapat dituliskan sebagai berikut:

$$N = \frac{m}{MR} \quad (2.12)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} N &= \text{Jumlah mol (mol)} \\ m &= \text{Massa (kg)} \\ MR &= \text{Berat molekul (kg/mol)} \end{aligned}$$

### c. Koefisien difusi massa

Salah satu pasangan zat yang paling banyak aplikasinya adalah uap air dan udara. Secara khusus persamaan koefisien difusi massa pasangan ini telah dirumuskan oleh Marrero dan Mason (1972). Persamaan ini hanya berlaku untuk interval temperatur  $280\text{K} < T < 450\text{K}$  dan dapat dituliskan sebagai berikut (Cengel, 2002: 726).

$$D_{\text{air-udara}} = 1,87 \times 10^{-10} \frac{T^{2,072}}{P} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} D_{\text{air-udara}} &= \text{Koefisien difusi massa air pada udara (m}^2\text{/s)} \\ T &= \text{Temperatur (K)} \\ P &= \text{Tekanan (atm)} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui besarnya difusifitas campuran udara maka dapat dilihat pada tabel 2.2, dimana campuran tersebut merupakan gas ideal pada temperatur yang telah ditentukan berdasarkan sumbernya (Cengel, 2002: 726). Koefisien difusi antar zat A dan zat B pada temperatur dengan gradient konsentrasi yang berbeda disebabkan oleh difusi termal.

### 2.2.5 Perpindahan massa

Perpindahan massa terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi pada suatu medium (Incropera, 2011: 934, 7<sup>rd</sup>). Proses perpindahan massa dan bisa disebut

difusi massa (*mass diffusion*) sangat mirip dengan proses perpindahan panas. Jika perpindahan panas dapat dijelaskan dengan hukum *fourier* dimana perbedaan temperatur sebagai gaya pendorong (*driving force*), maka perpindahan massa dijelaskan dengan hukum *Fick* dengan perbedaan konsentrasi sebagai gaya pendorong.

Tabel 2.2. Diffusifitas fluida gas ideal pada temperatur tertentu (Cengel, 2002: 726)

$T, ^\circ\text{C}$	$D_{\text{H}_2\text{O-Air}}$ or $D_{\text{Air-H}_2\text{O}}$ at 1 atm, in $\text{m}^2/\text{s}$ (from Eq. 14-15)
0	$2.09 \times 10^{-5}$
5	$2.17 \times 10^{-5}$
10	$2.25 \times 10^{-5}$
15	$2.33 \times 10^{-5}$
20	$2.42 \times 10^{-5}$
25	$2.50 \times 10^{-5}$
30	$2.59 \times 10^{-5}$
35	$2.68 \times 10^{-5}$
40	$2.77 \times 10^{-5}$
50	$2.96 \times 10^{-5}$
100	$3.99 \times 10^{-5}$
150	$5.18 \times 10^{-5}$

### 2.2.5.1 Perpindahan massa konduksi

Beberapa permukaan plat yang masing-masing mempunyai temperatur konstan yang berbeda, permukaan A dan permukaan B seperti yang ditampilkan pada gambar 2.1, perpindahan panas akan terjadi dari permukaan yang bertemperatur lebih rendah. Hal yang sama akan terjadi pada plat yang mempunyai konsentrasi yang berbeda pada masing-masing permukaannya. Perpindahan massa akan terjadi dari permukaan yang mempunyai konsentrasi tinggi ke permukaan yang mempunyai konsentrasi lebih rendah. Perpindahan massa secara konduksi dapat dihitung dengan menggunakan hukum difusi *Fick* atau disebut *Fick's Law of*

*Diffusion*, dalam basis mol dirumuskan dengan:

$$\dot{N} = -DA \frac{dC}{dx} = DA \frac{(C_A - C_B)}{L} \quad (2.14)$$

Dimana:

- $\dot{N}$  = Laju perpindahan massa (mol/s)
- $D$  = Koefisien difusi massa suatu zat pada mediumnya (m<sup>2</sup>/s)
- $A$  = Luas penampang perpindahan massa (m<sup>2</sup>)
- $C_A$  = Konsentrasi pada titik A (mol/m<sup>3</sup>)
- $C_B$  = Konsentrasi pada titik B (mol/m<sup>3</sup>)
- $L$  = Ketebalan dinding benda (m)

Bentuk persamaan laju perpindahan panas pada persamaan (2.2) dan laju perpindahan massa pada persamaan (2.15) adalah sama persis. Dapat disebutkan persamaan menghitung laju perpindahan massa sama bentuknya dengan persamaan menghitung laju perpindahan panas.

Karena konsentrasi dapat dinyatakan dengan beberapa bentuk, maka persamaan menghitung laju aliran massa dapat dinyatakan dalam beberapa bentuk juga. Variasi bentuk persamaan (2.15) jika dinyatakan dalam basis massa persamaanya menjadi:

$$\dot{m}_{evap} = -DA \frac{d\rho}{dx} = DA \frac{(\rho_A - \rho_B)}{L} \quad (2.15)$$

Dalam bentuk fraksi massa dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{evap} = -\rho DA \frac{dw}{dx} \quad (2.16)$$

Dalam bentuk fraksi mol dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\dot{N} = -CDA \frac{dy}{dx} \quad (2.17)$$

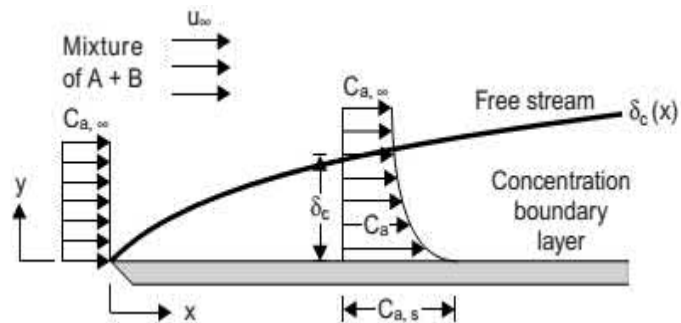
Dimana:

- $\dot{m}_{evap}$  = Laju penguapan (kg/s)
- $D$  = Koefisien difusi massa suatu zat pada mediumnya ( $m^2/s$ )
- $A$  = Luas penampang perpindahan panas ( $m^2$ )
- $\rho$  = Massa jenis ( $kg/m^3$ )
- $w$  = Fraksi massa
- $y$  = Fraksi mol
- $\dot{N}$  = Laju perpindahan massa (kg/s)

### 2.2.5.2 Perpindahan massa konveksi

Ketika sebuah medium berdefisiensi di dalam sebuah komponen yang mempunyai konsentrasi lebih tinggi (berbeda) maka komponen tersebut akan berdifusi ke dalam medium yang mengalir. Kecepatan lapis batas digunakan untuk menentukan terjadinya gesekan. Terdapat dua jenis lapis batas, yaitu lapis batas termal dan lapis batas konsentrasi. Lapis batas termal digunakan untuk menentukan perpindahan panas konveksi, sedangkan lapis batas konsentrasi digunakan untuk menentukan perpindahan massa konveksi. Dalam hal ini medium yang memiliki konsentrasi lebih tinggi akan memberikan efek terhadap medium yang berkonsentrasi lebih rendah, sehingga terjadi transfer massa (berdifusi). Gradien konsentrasi bervariasi dari permukaan hingga ke aliran bebas (Kothandaraman, 2006\_3<sup>rd</sup>: 662).

Koefisien perpindahan massa konveksi dinotasikan sebagai  $h_m$  dengan satuan m/s. Gambar 2.7 di bawah merupakan lapis batas konsentrasi zat di atas plat datar.



Gambar 2.7. Lapis batas konsentrasi zat di atas plat datar (Kothandaraman, 2006\_3<sup>rd</sup>: 662).

Untuk menentukan laju perpindahan massa dengan bilangan *Schmidt* menurut persamaan 2.18 di bawah (Kothandaraman, 2006\_3<sup>rd</sup>: 663).

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (2.18)$$

Sedangkan apabila menggunakan bilangan *Sherwood* maka persamaannya adalah (Kothandaraman, 2006\_3<sup>rd</sup>: 663).

$$Sh = \frac{h_m \cdot x}{D_{AB}} \quad (2.19)$$

Dari persamaan (2.20), maka  $h_m$  (m/s) dapat diketahui dengan mencari nilai bilangan *Reynold* sesuai persamaan (2.4) untuk menentukan jenis aliran apakah laminar atau turbulen. Jika nilai *Reynold*  $< 5 \times 10^5$  maka disebut laminar, dan jika  $> 5 \times 10^5$  disebut turbulen.

Untuk mencari bilangan *Sherwood* dengan aliran laminar dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Kothandaraman, 2006: 663).

$$\bar{Sh}_L = 0,664 \cdot Re_L^{1/2} Sc^{1/3} \quad (2.20)$$

Sedangkan untuk aliran turbulen dapat menggunakan persamaan sebagai berikut (Kothandaraman, 2006: 664).

$$Sh = 0,037 \cdot Re_L^{0,8} \cdot Sc^{1/3} \quad (2.21)$$

Dari persamaan 2.20 maka persamaan koefisien perpindahan massa ( $h_m$ ) menjadi:

$$h_m = \frac{Sh \cdot D_{ab}}{L} \quad (2.22)$$

Laju perpindahan massa atau *mass transfer* dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut (Kothandaraman, 2006: 667).

$$N''_A = Ah_m (C_a - C_b) \quad (2.23)$$

$$n''_A = Ah_m (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \quad (2.24)$$

Dimana:

$C_a$  = Konsentrasi uap air di permukaan material (kg.mol/m<sup>3</sup>).

$C_b$  = Konsentrasi uap air di udara (kg.mol/m<sup>3</sup>).

$\rho_{a,s}$  = Rapat massa uap air di permukaan material (kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_{a,\infty}$  = Rapat massa uap air di medium pengering (kg/m<sup>3</sup>).

$h_m$  = Koefisien perpindahan massa (m/s).

$A$  = Luas penampang perpindahan massa (m<sup>2</sup>)

### 2.2.5.3 Laju penurunan kadar air

Laju penurunan kadar air adalah banyaknya kandungan air yang keluar dari bahan persatuan waktu. Semakin tinggi penguapan kadar air bahan maka tingkat penurunan kadar air bahan juga semakin tinggi. Persamaan untuk menentukan laju penguapan adalah sebagai berikut (Putra dkk, 2017:04).

$$m_{ev} = \frac{m_2 - m_1}{t} \quad (2.25)$$



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, pengaruh aliran udara selama penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan udara mempengaruhi besarnya bilangan *Reynold* ( $Re$ ). Bilangan *Reynold* mempengaruhi besarnya bilangan *Sherwood* ( $Sh$ ), *Schmidt* ( $Sc$ ), dan koefisien perpindahan massa ( $h_m$ ). semakin besar koefisien perpindahan massa maka laju perpindahan massa juga makin besar.
2. Berdasarkan hasil penelitian pada tabel 4.2 dan 4.3, kecepatan udara mempengaruhi temperatur dan *relative humidity*.
3. Semakin lama waktu yang diberikan pada saat proses pengeringan maka perpindahan massa pada bahan akan terus berlanjut hingga pada keadaan setimbang.

#### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Diharapkan dalam proses penelitian selanjutnya, waktu di tambah lebih lama agar bahan menjadi kering (kandungan air bahan sampai dalam keadaan setimbang).
2. Alat pengeringan ini sangat sederhana bentuknya, namun untuk penelitian selanjutnya agar dibuat sebaik mungkin dengan kualitas alat yang memadai.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR PUSTAKA

- Ferianto., dan D. Ikhsani. 2013. Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Temperatur dan Kecepatan Udara Pengeriing Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer Dengan Tube Heater Tersusun Staggered. *Jurnal Teknik Pomits* 2(3): 373-378.
- Incropera, F. P., dan D. P. Dewitt. 2011. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. 7<sup>rd</sup>ed. United State of Amerika: John Willey and Sins Ltd.
- Kothandaraman, C. P. 2006. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. 3<sup>rd</sup> ed (Revised). One World: New Age International (P) Ltd.
- Mahayana, A. 2012. Pengeringan Karagenan dari Rumput Laut *Eucheuma Cottonii* pada Spray Dryer Menggunakan Udara yang Didehumidifikasi dengan Zeolit Alam. *Jurnal Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia IV*. 111-118.
- Muhandri, T., G. N. Rahmasari., Subarna., dan P. Hariyadi. 2015. Model Laju Pengeringan Spaghetti Jagung Menggunakan Tray Dryer. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan* 26(2): 171-178.
- Nafis, S., D. Suntoro., dan A. I. Firmansyah. 2015. Analisis Aliran Fluida Alat Pengeriing Produk Pertanian Memanfaatkan Panas Buang Tungku Boiler PLT-Bomassa. *Jurnal ISSN Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi*, Cipulir Kebayoran Jak-Sel 14(1): 55-70.
- Pakarti, A. A., dan D. Ichsani. 2013. Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan dan Temperatur Air Heater Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara pada Coal Dryer Dengan Tube Heater Tersusun Aligned. *Jurnal Teknik POMITS* 2(3): 367-372.
- Permana, D., dan Prabowo. 2016. Studi Eksperimen Pengaruh Kecepatan Udara Pengeriing Inlet Chamber pada Swirling Fludized Bed Dryer Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara. *Jurnal Teknik ITS* 5(2): 684-689.
- Prihandana. R. R., Hariansyah., dan S. Burhanudin. 2012. Penentuan Koefisien Perpindahan Massa Ekstraksi Minyak Biji Nyamplung Menggunakan Ekstraktor Berpengaduk. *Prosiding SNSMAIP III*, ISBN No. 978-602-98559-1-3
- Putra, R. N., Suprayogi., dan T. A. Ajiwiguna. 2017. Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Udara pada Proses Pengeringan. *E-Proceeding of Engineering* 4(3):3922-3927. Di akses 13/09/2018. 14.03
- Ramadani. W. R., H. M. Yahya., dan J. Palla. 2017. Perubahan Kadar Air dan Kadar Pati Ubi Kayu (*Manihot Utilissima*) Selama Pengeringan Menggunakan Room Dryer. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian* (3): S102-S111.

- Risdianti, D., Murad., dan G. M. D. Putra. 2016. Kajian Pengeringan Jahe (*Zingiber Officinale Rosc*) Berdasarkan Perubahan Geometrik dan Warna Menggunakan Metode Image Analysis. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem* 4(2): 275-284.
- Sabarez, H. T. 2015. Modelling of Drying Process for Food Materials. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-284-6.00004-0>, 98-127.
- Suherman, A. Purbasari., M. P. Aulia. 2012. Pengaruh Suhu Udara dan Berat Sampel pada Pengeringan Tapioka Menggunakan Pengering Unggun Terfluidakan. *Prosiding SNST ke-3:A-45-A-50*.
- Syahrul, S., R. Romdhani., dan M. Mirmanto. 2016. Pengaruh Variasi Kecepatan Udara dan Massa Bahan Terhadap Waktu Pengeringan Jagung pada Alat Fluidized Bed. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin, Universitas Mataram* 6(2): 119-126.
- Syahrul., Mirmanto., dan S. Ramdoni. 2017. Pengaruh Kecepatan Udara dan Massa Gabah Terhadap Kecepatan Pengeringan Gabah Menggunakan Pengering Terfluidisasi. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin, Universitas Mataram* 7: 54-59.
- Tzempelikos. D. A., A. P. Vouros., dan A. V. Bardakas. 2014. Case Studies On The Effect of The Air Drying Conditions On The Convective Drying of Quinces. *International Journal of Science Direct* 3: 79-85.
- Wutthithanyawat, C., and N. Srisiriwat. 2016. Temperature Control of Heating Zone for Drying Process: Effect of Air Velocity Change. DOI: 10.1051/03002 (2016) I,mateconf/2016.65:1-3.Internet ,<https://www.matec-conferences.org.13/09/2018, 14.47>.
- Yanda, R. J., H. Syah., dan R. Agustina. 2014. Uji Kinerja Pengering Surya dengan Kincir Angin Savonius untuk Pengeringan Ubi Kayu (*Manihot Esculenta*). *Jurnal Rona Teknik Pertanian* 7(2): 100-111.
- Yani, E., dan S. Fajrin. 2013. Karakteristik Pengeringan Biji Kopi Berdasarkan Variasi Kecepatan Aliran Udara pada Solar Dryer. *Jurnal Teknik Mesin, Universitas Andalas* 20(1): 17-22.
- Yunus, A. dan Cengel. 2002. *Heat and Mass Transfer A Practical Approach*. 2<sup>nd</sup> ed. Boston: McGraw-Hill.