



PENGARUH KELEMBABAN RELATIF (*RELATIVE HUMIDITY*) TERHADAP LAJU PERPINDAHAN MASSA PADA PROSES PENGERINGAN

SKRIPSI

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

Oleh

Zakariya Efendi

NIM.5212414016

**TEKNIK MESIN S1
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

2019



UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**PENGARUH KELEMBABAN RELATIF (*RELATIVE
HUMIDITY*) TERHADAP LAJU PERPINDAHAN
MASSA PADA PROSES PENGERINGAN**

SKRIPSI

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

Oleh

Zakariya Efendi

NIM.5212414016

**TEKNIK MESIN S1
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

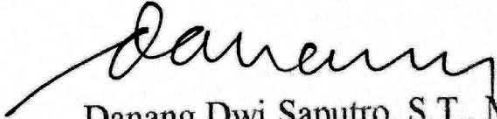
2019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Zakariya Efendi
Nim : 5212414016
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)
Terhadap Laju Perpindahan Massa

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

Semarang, 25/06/2019
Pembimbing,



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

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) Terhadap Laju Perpindahan Massa telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada 27 Juni 2019

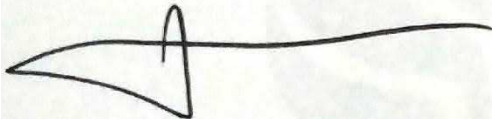
Oleh

Nama : Zakariya Efendi
NIM : 5212414016
Program Studi : Teknik Mesin

Panitia:

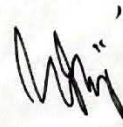
Ketua Panitia

Sekretaris



Rusiyanto S.Pd., M.T.

NIP.197403211999031002



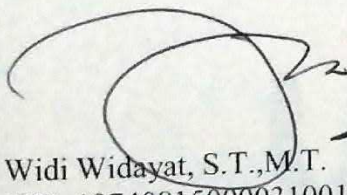
Samsudin Anis, S.T., M.T. Ph. D

NIP.197601012003121002

Penguji I

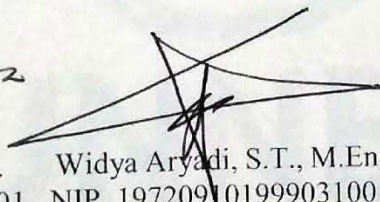
Penguji II

Pembimbing I



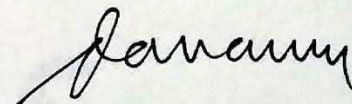
Widi Widayat, S.T., M.T.

NIP. 19740815000031001



Widya Aryadi, S.T., M.Eng.

NIP. 197209101999031001



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

NIP. 197811052005011001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Oudus, M.T., IPM.

NIP. 196911301994031001

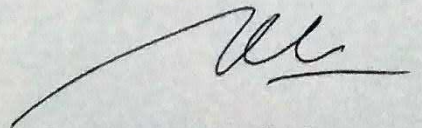
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi 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 ini.

Semarang, Februari 2019

Yang membuat pernyataan



Zakariya Efendi
NIM. 5212414016

SARI ATAU RINGKASAN

Zakariya Efendi. 2019. Pengaruh Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) Terhadap Laju Perpindahan Massa. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Pembimbing (1) Danang Dwi Saputro, S.T., M.T.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kelembaban relatif (RH) terhadap laju perpindahan massa dan kecepatan pengeringan berdasarkan perubahan massa yang terjadi pada bahan yang dikeringkan. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa laju perpindahan massa dipengaruhi oleh kelembaban relatif udara, laju perpindahan massa semakin meningkat dengan semakin rendahnya kelembaban relatif pada udara pengeringan.

Penelitian ini memvariasikan kelembaban relatif udara untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya terhadap laju perpindahan massa. Variasi kelembaban relatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah 55.3%, 50.3%, 45.3% dan 41.6%. Kecepatan aliran udara pengeringan diatur pada kecepatan 2m/s dengan kisaran suhu udara pengeringan rata-rata adalah 40.5°C. Bahan dikeringkan selama 120 menit dimana setiap 30 menit bahan akan ditimbang untuk mengetahui perubahan berat yang terjadi pada bahan.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kelembaban relatif mempengaruhi laju perpindahan massa yang terjadi, dari hasil perhitungan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai laju perpindahan massa tertinggi yaitu pada kelembaban relatif 41.6% diikuti oleh kelembaban relatif 45.3%, 50.3% dan 55.3%. Nilai laju perpindahan massa yang didapatkan dari hasil perhitungan adalah 4,95 gram/menit untuk kelembaban relatif 41.6%, 4,7 gram/menit untuk kelembaban relatif 45.3%, 4,07 gram/menit untuk kelembaban relatif 50,3% dan 3,034 gram/menit untuk kelembaban relatif 55.3%. Hasil dari perhitungan tersebut dibuktikan dengan perubahan massa yang terjadi pada bahan dimana bahan yang dikeringkan dengan kelembaban 41.6% memiliki penurunan berat bahan yang lebih cepat dibandingkan dengan variasi kelembaban yang lainnya. Berat bahan setelah mengalami pengeringan selama 120 menit pada kelembaban relatif 41.6% adalah 79,1 gram, 45.3% adalah 81.2 gram, 50.3% adalah 81.7 gram dan 55.3% adalah 82.7 gram dari berat awal yaitu 100 gram.

Kata Kunci: *Kelembaban relatif (RH), Laju perpindahan massa*

PRAKATA

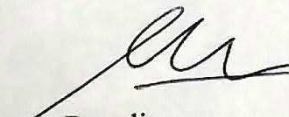
Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul ” Pengaruh Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*) Terhadap Laju Perpindahan Massa” sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik di Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Skripsi ini dapat terselesaikan berkat bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rakhman, M.Hum., Rektor Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang
3. Rusiyanto, S.Pd., M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Danang Dwi Saputro, S.T., M.T., pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi dan saran kepada penulis.
5. Widi Widayat, S.T., M.T. dan Widya Ariyadi S.T., M.T., penguji yang telah memberikan masukan sangat berharga berupa saran, ralat, perbaikan, pertanyaan, komentar, tanggapan guna menambah bobot dan kualitas karya tulis ini.
6. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang, yang telah memberi pengetahuan yang berharga.

7. Civitas akademika Fakultas Teknik dan Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang yang telah membantu penulis menyelesaikan karya tulis ini.
8. Keluarga yang selalu mendo'akan serta memberikan dukungan dan motivasi.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.
10. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun terhadap skripsi ini.

Semarang, 28 Oktober 2018



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
RINGKASAN	v
PRAKATA.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	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	6
2.1 Kajian Pustaka	6
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Pengeringan	8
2.2.2 Proses Pengeringan.....	11
2.2.3 Laju Pengeringan	13
2.2.4 Sifat-sifat Udara.....	15
2.2.5 Metode Psikometrik.....	20
2.2.6 Perpindahan Massa	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27

3.2	Desain Penelitian	27
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	29
3.3.1	Alat Penelitian	29
3.3.2	Bahan Penelitian	32
3.4	Parameter Penelitian	32
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	33
3.6	Kalibrasi Instrumen.....	34
3.7	Teknik Analisis Data.....	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Deskripsi Data.....	37
4.2	Analisis Data	37
4.2.1	Penyajian Data	37
4.3	Pembahasan.....	42
4.3.1	Hubungan Kelembaban Relatif Terhadap Laju Perpindahan Massa	42
4.3.2	Hubungan Waktu dengan Perubahan Massa	48
BAB V PENUTUP.....		50
5.1	Simpulan	50
5.2	Saran	50
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

M	= kadar air berat basah (%)
W_m	= berat air dalam bahan (gr)
W_d	= berat kering mutlak bahan (gr)
W_t	= berat total (gr)
$\frac{dW}{dt}$	= kecepatan pengeringan (Kg/s)
m_a	= laju aliran massa udara kering (kg/s)
$H_{1,2}$	= nilai rasio kelembaban (kg/kg)
P_w	= tekanan Uap air (Pa)
P_a	= tekanan Udara kering (Pa)
V	= volume (m^3)
W_a	= massa Udara (Kg)
W_w	= massa Uap Air (Kg)
T_{ab}	= temperatur ($^{\circ}K$)
R_0	= konstanta gas (Nm/kg mol K)
M_a	= berat mol udara kering (kg/mol)
M_w	= berat mol air (kg/mol)
P_{atm}	= tekanan atmosfer (Pa)
v_{moist}	= volume spesifik udara lembab (m^3/kg)
T_a	= temperatur udara kering ($^{\circ}C$)
P_s	= tekanan uap jenuh (Pa)
T_{ab}	= temperatur ($^{\circ}K$)
h	= entalpi udara lembab (kj/kg)
q_x	= laju perpindahan panas konduksi (W/m^2)
A	= luas penampang bidang (m)
K	= konduktivitas termal bahan ($W/m.C$)
$\frac{dT}{dX}$	= perbedaan suhu
T	= temperatur ($^{\circ}C$)
L	= tebal (m)
q_c	= laju perpindahan panas konveksi (W)
h	= koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.C$)
T_w	= temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)
T_f	= temperatur fluida ($^{\circ}C$)
Q_r	= laju perpindahan panas radiasi (W)
N	= Laju penguapan (kg/s)
D	= Koefisien difusi massa suatu zat pada mediumnya (m^2/s)
A	= Luas penampang perpindahan massa (m)
ρ_A	= Kerapatan atau density zat A (kg/m^3)
ρ_B	= Kerapatan atau density zat B (kg/m^3)

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Hasil Kalibrasi <i>Temperature- Humidity HTC-2</i>	35
Tabel 4.1 Pengaruh Suhu <i>Heater</i> dan jumlah <i>Silica-gel</i> terhadap Perubahan Kelembaban Relatif	38
Tabel 4.2 Pengaruh Kelembaban Relatif Terhadap Perubahan Massa	39
Tabel 4.3 Pengaruh kelembaban Relatif Terhadap Laju Perpindahan Massa.....	41
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Laju Perpindahan Massa	41
Tabel 4.5 Tabel Penurunan Suhu Udara Pengering	44
Tabel 4.6 Hubungan RH, ΔH dan ΔT	45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengeringan Pada Grafik Psikometrik	12
Gambar 2.2 Kurva Laju Pengeringan.....	14
Gambar 2.3 Grafik Psikometrik	20
Gambar 2.4 Perpindahan Panas Konduksi	21
Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi	23
Gambar 2.6 Perpindahan Panas Radiasi.....	24
Gambar 2.7 Perpindahan Massa Konduksi	25
Gambar 2.8 Perpindahan Massa Konveksi	26
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 3.2 Skema Alat Pengeringan	29
Gambar 3.3 <i>Temperature-Humidity HTC-2</i>	30
Gambar 3.4 Anemometer Digital	31
Gambar 3.5 Timbangan Digital	32
Gambar 4.1 Titik Pengambilan Data Kelembaban Udara Relatif (RH), Suhu dan Kecepatan Udara.....	39
Gambar 4.2 Grafik Hubungan RH dan Kelembaban Udara Pengeringan	43
Gambar 4.3 Grafik Hubungan RH dan Perubahan Kelembaban Udara.....	46
Gambar 4.4 Grafik Pengaruh RH terhadap Laju Perpindahan Massa	47
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Kelembaban (H) terhadap Perubahan Suhu	47
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Waktu dan Perubahan Massa	49

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Data Hasil Penelitian

Lampiran 2: Perhitungan Laju Perpindahan Massa

Lampiran 3: Design Alat Pengering

Lampiran 4: Dokumentasi Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan terhadap bahan pangan saat ini semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, sehingga ketersediaan stok bahan pangan menjadi hal yang sangat penting. Satu-satunya sumber untuk memenuhi kebutuhan bahan pangan adalah dari sektor pertanian, namun tidak semua hasil pertanian langsung bisa dimanfaatkan. Hal ini tentu menjadi masalah mengingat kebanyakan hasil pertanian tidak bertahan lama dan mudah mengalami pembusukan, untuk mengatasi masalah tersebut muncullah cara untuk tetap menjaga ketersediaan bahan pangan yaitu dengan cara mengawetkannya. Salah satu cara pengawetan yang sudah dikenal sejak dulu adalah dengan dikeringkan. Bahan pangan dikeringkan dengan tujuan mengurangi kadar air pada bahan sampai pada batas dimana perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau berhenti (Estiasih dan Ahmadi, 2009:87). Bahan yang dikeringkan mempunyai daya simpan yang lebih lama dan volume bahan pangan menjadi lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan, pengemasan maupun penyimpanan (Supriyono, 2003:13).

Bahan pangan yang dikeringkan akan melalui proses pengeringan. Secara tradisional proses pengeringan bahan makanan memanfaatkan panas sinar matahari dengan cara dijemur, proses pengeringan ini sangat tergantung pada kondisi cuaca. Selain itu proses pengeringan secara tradisional juga rentan terhadap kontaminasi serangga, debu maupun hal hal lain yang mengakibatkan kualitas bahan pangan hasil pengeringan menjadi kurang. Untuk mempermudah proses pengeringan saat

ini industri pengolahan bahan pangan baik industri besar maupun kecil sudah banyak menggunakan teknologi pengeringan, selain tidak tergantung dengan cuaca bahan hasil pengeringan juga menjadi lebih bersih.

Masalah yang muncul selanjutnya adalah mengenai efisiensi pengeringan baik dari segi energi, kuantitas dan kualitas pengeringannya. Penelitian dan pengembangan alat pengeringan diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan produksi. Berdasarkan teori yang ada, parameter yang mempengaruhi proses pengeringan dibagi menjadi empat yaitu suhu, kelembaban udara relatif, laju aliran udara, kadar air awal dan kadar air bahan (Muhardiyah dan Hazwi, 2014:68). Keempat parameter tersebut menjadi faktor yang mempengaruhi proses pengeringan yaitu kecepatan pengeringan pada bahan dan juga kualitas hasil pengeringan.

Djaeni dan Sari (2014:9), melakukan penelitian tentang pengeringan rumput laut dengan suhu rendah menggunakan metode penurunan kelembaban udara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu udara, kelembaban, dan pengeringan rumput laut, hasilnya suhu udara yang tinggi meningkatkan difusivitas kelembaban serta tingkat pengeringannya, sementara kelembaban relatif yang rendah meningkatkan daya penggerak untuk pengeringan, sehingga penghilangan air menjadi lebih cepat dan waktu pengeringan menjadi lebih pendek.

Kim *et al* (2013:1), meneliti tentang pengaruh temperatur, kelembaban relatif, kecepatan udara terhadap laju pengeringan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa temperatur yang tinggi, kelembaban relatif yang lebih rendah, dan kecepatan fluida yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pengeringan yang

tinggi. Laju pengeringan maksimum dicapai pada fase pengeringan awal, kemudian menurun secara konstan hingga akhirnya menjadi nol pada masing-masing sampel. Rahayuningtyas dan Kuala (2016:1), meneliti tentang pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pengeringan terhadap perubahan suhu serta kelembaban udara yang terjadi selama proses pengeringan. Suhu pengeringan diatur pada $50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ dan $60^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan udara 2,5 m/s, bahan yang dikeringkan berupa irisan singkong dengan ketebalan 2 mm. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa suhu dan kelembaban mempengaruhi lamanya pengeringan.

Penelitian di atas menjadi landasan untuk dilakukannya penelitian lebih mendalam mengenai parameter yang mempengaruhi proses pengeringan salah satunya adalah kelembaban relatif (RH). Kelembaban relatif (RH) menjadi salah satu parameter yang penting untuk diteliti karena sangat mempengaruhi proses terjadinya penguapan kandungan air pada bahan pangan. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi terciptanya alat pengering yang efisien serta menghasilkan bahan pangan dalam kondisi kering yang berkualitas.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, didapatkan identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Efisiensi alat pengering bahan makanan harus terus dikembangkan untuk menunjang kebutuhan produksi pada industri.

2. Perpindahan massa pada proses pengeringan dipengaruhi oleh suhu, kelembaban relatif udara, kecepatan udara, luas bidang pengeringan dan waktu.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan dibatasi untuk mempermudah penelitian yang dilakukan, adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kelembaban relatif menjadi menjadi faktor yang diteliti pengaruhnya terhadap laju perpindahan massa
2. Bahan yang digunakan sebagai subjek penelitian adalah ketela pohon
3. Subjek penelitian akan dikeringkan dengan menggunakan alat pengering *dehumidifier*.
4. Laju perpindahan massa dilihat berdasarkan perbedaan berat awal dan berat akhir pada bahan sebelum dan sesudah dikeringkan.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah mengetahui laju perpindahan massa pada bahan yang disebabkan karena adanya pengaruh kelembaban relatif dalam proses pengeringan. Rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh kelembaban relatif terhadap laju perpindahan massa pada bahan yang dikeringkan?
2. Bagaimana hubungan perpindahan massa dan waktu?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh kelembaban relatif udara (RH) terhadap laju perpindahan massa pada bahan yang dikeringkan.
2. Untuk mengetahui hubungan perpindahan massa dan waktu.

1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan uraian diatas, maka manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi peneliti: Mendapatkan ilmu pengetahuan tentang pengeringan bahan makanan
2. Bagi pembaca: Menambah pengetahuan mengenai proses pengeringan dan bagaimana pengeringan berlangsung secara mendalam
3. Bagi masyarakat: diharapkan mampu menjadi salah satu referensi bagi industri yang bergerak di bidang pengolahan bahan makanan kering untuk menciptakan alat pengering yang semakin efisien dan memiliki kualitas pengeringan yang bagus.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian mengenai pengaruh kelembaban udara relatif (*Relative Humidity*) terhadap pengeringan sebelumnya dilakukan oleh Pu *et al* (2016). Penelitian tersebut menggunakan wortel sebagai sampel yang diamati. Sembilan skema dengan variasi tingkat aliran udara yang berbeda digunakan sebagai variabel penelitian, skema di dalam penelitian tersebut dirancang untuk menyesuaikan kelembaban relatif yang mengelilingi sampel. Hasil penelitian tersebut menunjukkan, produk yang paling optimal didapatkan pada skema aliran udara yang dipercepat, kecepatan pengeringan dan hasil pengeringan serta tingkat rehidrasi dan warna produk yang dihasilkan lebih baik dari variasi skema lainnya.

Rahayuningtyas dan Kuala (2016), meneliti tentang pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh lama waktu pengeringan terhadap perubahan suhu serta kelembaban udara yang terjadi selama proses pengeringan. Suhu pengeringan diatur pada 50°C – 60°C dan 60°C – 70°C dengan kecepatan kipas 2,5 m/s, bahan yang dikeringkan berupa irisan singkong dengan ketebalan 2 mm. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa suhu dan kelembaban mempengaruhi lamanya pengeringan. Pada saat kelembaban udara tinggi maka suhu ruangan menjadi rendah yang mengakibatkan waktu pengeringan semakin lama, dan sebaliknya saat kelembaban udara rendah suhu udara meningkat mengakibatkan proses pengeringan semakin cepat.

Sabudin *et al* (2014), meneliti tentang pengaruh kelembaban relatif terhadap kinetika pengeringan hasil pertanian. Penelitian tersebut mempelajari proses pengeringan beberapa produk pertanian, percobaan dilakukan pada suhu 27°C dengan variasi kelembaban relatif sebesar 40%, 60%, dan 80%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembaban relatif sangat mempengaruhi waktu pengeringan dan tingkat pengeringan, RH 40% memiliki tingkat pengeringan tertinggi dan waktu pengeringan relatif lebih pendek.

Djaeni dan Sari (2015), melakukan penelitian tentang pengeringan rumput laut suhu rendah menggunakan metode penurunan kelembaban udara. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu udara, kelembaban, dan pengeringan rumput laut. Untuk mendukung penelitian ini beberapa model kinetik pengeringan dikembangkan untuk memprediksi tingkat pengeringan. Selanjutnya, kualitas rumput laut juga dievaluasi berdasarkan tingkat rehidrasi. Suhu udara yang tinggi meningkatkan difusivitas kelembaban serta tingkat pengeringannya, sementara kelembaban relatif yang rendah meningkatkan daya penggerak untuk pengeringan, sehingga penghilangan air menjadi lebih cepat dan waktu pengeringan menjadi lebih pendek.

Kim *et al* (2013), meneliti tentang pengaruh temperatur, kelembaban relatif, kecepatan udara terhadap laju pengeringan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kelembaban relatif yang lebih rendah, temperatur dan kecepatan fluida yang lebih tinggi menunjukkan tingkat pengeringan yang lebih cepat. Laju pengeringan maksimum dicapai pada fase pengeringan awal, kemudian menurun secara konstan hingga akhirnya menjadi nol pada masing-masing sampel.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengeringan

Pengeringan adalah suatu proses perpindahan panas dan uap air yang terjadi secara simultan, dalam proses pengeringan dibutuhkan energi panas untuk menguapkan kandungan air pada permukaan bahan yang dikeringkan. Energi panas tersebut biasanya berupa udara dengan suhu tinggi (Widyani dan Suciaty, 2008:25).

Menurut Estiasih dan Ahmadi (2009:87), pengeringan adalah metode pengawetan agar daya simpan bahan pangan menjadi lebih panjang dengan cara mengurangi kadar air dari bahan pangan. Menurunnya kadar air pada bahan mengakibatkan aktivitas mikroorganisme dan enzim menurun, karna air yang dibutuhkan untuk melakukan aktivitasnya tidak cukup.

Tujuan pengeringan adalah menghambat pertumbuhan mikroba dan serangga serta mengurangi volume bahan pangan sehingga proses penyimpanan dan distribusi menjadi lebih efisien (Chan dan Darius. 2018: 39).

Supriyono (2003:13), menjelaskan bahwa tujuan pengeringan adalah membuat volume bahan pangan menjadi lebih kecil sehingga proses distribusi maupun pengemasan menjadi lebih efisien. Secara fisik dan kimia bahan yang dikeringkan masih memiliki kadar air namun dalam jumlah yang sangat sedikit, sehingga baik mikroba maupun enzim yang ada di dalamnya tidak dapat aktif karena kurangnya air. Hal ini mengakibatkan bahan yang dikeringkan memiliki daya simpan yang lebih lama.

Disamping keuntungan-keuntungan yang didapatkan dari proses pengeringan, pengeringan juga mempunyai beberapa kerugian yaitu nilai gizi pada

bahan pangan yang dikeringkan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan bahan segarnya, bahan pangan yang dikeringkan juga mengalami perubahan warna, tekstur, aroma dan lain-lain (Widyani dan Suciaty, 2008:29).

Menurut Estiasih dan Ahmadi (2009:101) kecepatan pengeringan maksimum dipengaruhi oleh kecepatan perpindah panas dan pindah massa selama proses pengeringan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan perpindah panas dan massa adalah sebagai berikut:

1. Luas permukaan

Bahan pangan yang akan dikeringkan biasanya dikecilkan ukurannya, baik dengan cara diiris, dipotong atau digiling. Pengecilan ukuran ini bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan, hal ini disebabkan karena pengecilan ukuran akan memperluas permukaan yang mengalami kontak langsung dengan medium pemanas. Selain itu semakin luas permukaan akan mengakibatkan air lebih mudah berdifusi sehingga bahan menjadi lebih cepat kering.

2. Suhu

Perbedaan suhu yang semakin tinggi antara medium pemanas dan bahan yang dikeringkan akan mempercepat proses perpindahan panas dan penguapan air dari permukaan bahan. Suhu udara yang tinggi juga meningkatkan kapasitas udara dalam menampung uap air.

3. Kecepatan Pergerakan Udara

Udara yang bergerak atau bersirkulasi akan mempercepat proses pengeringan dibandingkan dengan udara yang diam, hal ini disebabkan karena udara yang

bergerak akan terhindar dari kejenuhan. Kejenuhan udara dapat memperlambat proses pengeringan.

4. Kelembaban Udara

Apabila udara yang digunakan sebagai medium pengeringan memiliki kelembaban yang rendah maka kecepatan pengeringan akan semakin tinggi. Udara dengan kelembaban yang rendah (udara kering) mempunyai kandungan uap air yang sedikit sehingga kemampuan udara dalam mengambil uap air dari bahan akan lebih tinggi.

Selain faktor pengeringan diatas proses pengeringan juga dipengaruhi oleh kadar air bahan. Kadar air bahan menunjukkan jumlah kandungan air yang dimiliki oleh setiap bahan pada masing- masing satuan berat. Kadar air dinyatakan dalam dua jenis yaitu basis basah (*wet basis*) dan basis kering (*dry basis*). Secara teoritis batas maksimum basis basah adalah 100%, sedangkan kadar air basis kering lebih rendah dari 100%. Kadar air basis basah (b,b) dapat ditentukan dengan persamaan 2.1 dimana kadar air basah menyatakan perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan.

$$M = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100\% = \frac{W_m}{W_t} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- M = kadar air berat basah (%)
- W_m = berat air dalam bahan (gr)
- W_d = berat kering mutlak bahan (gr)
- W_t = berat total (gr)

Kadar air basis kering (b,k) merupakan kadar air yang dimiliki bahan setelah mengalami proses pengeringan dalam jangka waktu tertentu dan beratnya menjadi

konstan. Kadar air basis kering dapat ditentukan dengan persamaan 2.2 (Muhardityah dan Hazwi, 2014:69)

$$M = \frac{W_m - W_d}{W_m} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

- M = kadar air basis kering (%)
- W_m = berat air dalam bahan (gr)
- W_d = berat kering mutlak bahan (gr)

2.2.2 Proses Pengeringan

Pengeringan terjadi melalui proses penguapan cairan yang ada di dalam bahan dengan cara memberikan atau mengalirkan panas pada bahan yang akan dikeringkan. Panas dapat diberikan melalui cara konveksi (pengeringan langsung), pengeringan konduksi (pengeringan sentuh), radiasi ataupun secara volumetrik menempatkan bahan tersebut kedalam medan gelombang elektromagnetik mikro (*microwave*), ataupun dengan gelombang radio (Mujumdar, 2004:24).

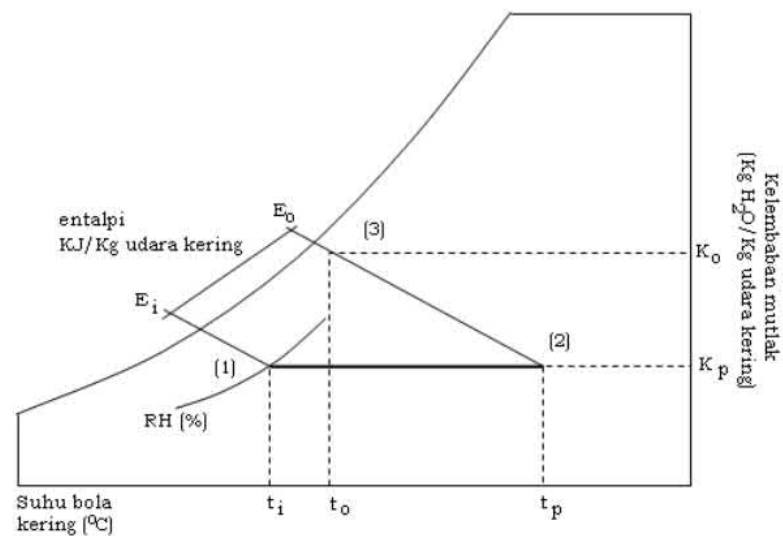
Dalam pengertian lain proses pengeringan terjadi dengan cara menguapkan air yang ada di dalam bahan. Proses penguapan ini dilakukan dengan cara menurunkan kelembaban relatif udara melalui proses pemanasan atau dengan cara meningkatkan tekanan udara sehingga tekanan uap air pada bahan lebih besar dari pada tekanan uap air udara. Perbedaan tekanan ini mengakibatkan terjadinya perpindahan uap air dari bahan menuju ke udara (Nurba, 2008:7).

Menurut Mujumdar (2006:8), ketika sebuah material padat basah dikenai pengeringan termal terdapat dua proses yang timbul secara bersamaan yaitu:

1. Transfer ataupun perpindahan energi (panas) dari lingkungan sekitar untuk menguapkan air yang ada pada permukaan. Proses perpindahan energi panas

terjadi karena adanya perbedaan suhu udara pengering dengan suhu bahan yang dikeringkan, dimana suhu udara pengering lebih tinggi dari suhu bahan. Panas yang dialirkan melalui udara pengering akan meningkatkan suhu bahan, sehingga air dalam bahan akan berubah menjadi uap.

2. Perpindahan kelembaban internal ke arah permukaan padatan dan penguapan lanjutan karena proses pertama tadi. Peningkatan suhu bahan karena proses perpindahan panas akan menyebabkan tekanan uap air di dalam bahan lebih tinggi dari tekanan uap air pada udara pengering, perbedaan tekanan uap antara bahan dan udara pengering menyebabkan terjadinya perpindahan massa air dari dalam bahan menuju permukaan bahan.



Keterangan:

- 1-2 = proses pemanasan udara
- 2-3 = proses terjadinya pengeringan
- t = udara masuk kedalam alat pengering
- p = udara pengeringan
- o = udara keluar dari alat pengering

Gambar 2.1 Proses Pengeringan Pada Grafik Psikometrik
(Sumber: Nurba, 2008:7)

Gambar 2.1 menunjukkan terjadinya proses pengeringan dengan cara memanaskan udara pengering. Selama proses pengeringan nilai entalpi dan suhu bola basah udara berada pada kondisi tetap sementara suhu bola kering secara perlahan akan turun diikuti dengan kenaikan kelembaban relatif, rasio kelembaban, tekanan parsial dan suhu pengembunan udara pengering.

2.2.3 Laju Pengeringan

Laju pengeringan dalam proses pengeringan suatu bahan mempunyai arti penting, dimana laju pengeringan menggambarkan tentang bagaimana kecepatan pengeringan berlangsung. Laju pengeringan adalah banyaknya jumlah air yang di uapkan tiap satuan waktu atau penurunan kadar air suatu bahan tiap waktu (Nesri et al., 2016:64). Laju pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan (Chan, 2018:40)

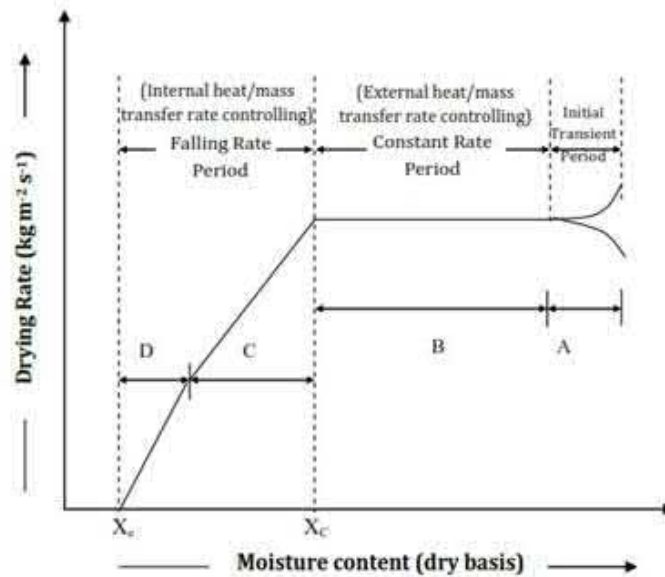
$$\text{Laju pengeringan} = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

- Laju pengeringan = laju pengeringan (g/menit)
- m_{awal} = berat bahan sebelum kering (g)
- m_{akhir} = berat bahan setelah kering (g)
- t = waktu pengeringan (menit)

Laju pengeringan dibedakan menjadi dua tahap yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Laju pengeringan konstan terjadi pada awal proses pengeringan, proses ini terjadi pada lapisan air bebas yang terdapat pada permukaan produk bahan. Laju pengeringan konstan terjadi dalam waktu yang sangat singkat, besarnya laju pengeringan pada tahap ini dipengaruhi oleh a) Lapisan yang terbuka, b) Perbedaan kelembaban antara aliran udara dan produk,

c) Koefisien perpindahan massa, dan d) Kecepatan aliran udara pengering (Nurba, 2008:6).



Keterangan:

- A = periode pemanasan
- B = periode laju pengeringan konstan
- C = periode laju pengeringan menurun pertama
- D = periode laju pengeringan menurun kedua
- X_C = batas laju pengeringan konstan
- X_e = batas laju pengeringan menurun

Gambar 2.2 Kurva laju pengeringan
(Sumber: Jangam, et al, 2010:12)

Periode laju pengeringan menurun dibagi menjadi dua proses. Proses pertama adalah perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan dan dilanjutkan dengan perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara sekitar (Henderson and Perry, 1976 dalam Hani, 2012:9). Laju pengeringan menurun terjadi setelah periode pengeringan konstan selesai, pada tahap ini kadar air bahan lebih kecil dari kadar air kritis. Kadar air kritis adalah batas antara laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Pada tahap laju pengeringan menurun kecepatan aliran air

bebas dari dalam bahan kepermukaan lebih kecil dari kecepatan pengambilan uap air maksimum dari bahan (Nurba, 2008:6). Proses pengeringan dengan laju menurun bergantung pada sifat alami bahan yang dikeringkan, perubahan volume bahan, bentuk serta tekstur bahan tersebut. Pada periode menurun laju perpindahan massa dikendalikan oleh perpindahan internal (Istadi *et al.*, 2002:2).

Tahap awal proses pengeringan dimulai dengan periode pemanasan pada tahap ini laju pengeringan berlangsung secara maksimum. Tingkat pengeringan bahan dalam hal ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan, suhu, kelembaban relatif udara dan kecepatan udara pengering. Sementara proses pengeringan akan terus berlangsung sampai terjadi kesetimbangan antara permukaan bahan dan bagian dalam bahan serta permukaan bahan dengan udara pengering (Sitkei and Gyorgy, 1986 dalam Hani, 2012:9).

Laju pengeringan pada biji-bijian dan bahan basah dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Bala, 2017:42):

$$\frac{dW}{dt} = m_a (H_2 - H_1) \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

- $\frac{dW}{dt}$ = kecepatan pengeringan (Kg/s)
- m_a = laju aliran massa udara kering (kg/s)
- $H_{1,2}$ = nilai rasio kelembaban (kg/kg)

2.2.4 Sifat- Sifat Udara

1. Rasio Kelembaban (*Humidity Rasio*)

Rasio kelembaban (*Humidity ratio*) didefinisikan sebagai perbandingan massa uap air (W_w) dengan massa udara kering (W_a). Untuk menghitung rasio

kelembaban digunakan persamaan gas ideal. Udara dianggap gas ideal karena suhunya lebih tinggi dibandingkan dengan suhu jenuhnya dan uap air dianggap gas ideal karena tekanannya cukup rendah dibandingkan dengan tekanan jenuhnya (Bala, 2017:32).

$$P_w V = \left(\frac{W_w}{M_w}\right) R_0 T_{ab} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$P_a V = \left(\frac{W_a}{M_a}\right) R_0 T_{ab} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- P_w = tekanan uap air (Pa)
- P_a = tekanan udara kering (Pa)
- V = volume (m^3)
- W_a = massa udara (Kg)
- W_w = massa uap air (Kg)
- T_{ab} = temperatur ($^{\circ}K$)
- R_0 = konstanta gas (Nm/kg mol K)
- M_a = berat mol udara kering (kg/mol)
- M_w = berat mol air (kg/mol)

Menurut hukum tekanan parsial Dalton, tekanan total adalah jumlah dari tekanan uap air (P_w) dan tekanan udara kering (P_a) (Bala, 2017:32).

$$P = P_a + P_w \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- P = tekanan total (Pa)
- P_a = tekanan udara kering (P_a)
- P_w = tekanan uap air (Pa)

Persamaan 2.7 di substitusikan dengan persamaan 2.5 dan dengan persamaan 2.6 sehingga persamaannya menjadi.

$$(P-P_a)V = \left(\frac{W_w}{M_w}\right)R_oT_{ab} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$(P-P_w)V = \left(\frac{W_a}{M_a}\right)R_oT_{ab} \dots\dots\dots(2.9)$$

Berdasarkan definisi, rasio kelembaban dinotasikan dengan H sehingga persamaannya adalah.

$$H = \frac{W_w}{W_a} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

H = rasio kelembaban (Kg uap air /kg udara)

W_w = massa uap air (kg uap air)

W_a = massa udara kering (kg udara)

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.10 dengan persamaan 2.8 dan 2.9 maka persamaan 2.10 menjadi

$$\begin{aligned} H &= \frac{W_w}{W_a} \\ &= \frac{M_w}{M_a} \left(\frac{P-P_w}{P-P_a} \right) \\ &= \frac{M_w}{M_a} \left(\frac{P-P_w}{P-(P-P_w)} \right) \\ &= \frac{M_w}{M_a} \left(\frac{P_w}{P-P_w} \right) \end{aligned}$$

Nilai $\frac{M_w}{M_a}$ adalah 0,622, maka persamaan rasio kelembaban menjadi (Bala, 2017:32).

$$H = \frac{0,622P_w}{(P-P_w)} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

H = rasio kelembaban (kg uap air/ kg udara)

P_w = tekanan parsial uap air (Pa)

P_{atm} = tekanan atmosfer (Pa)

P = tekanan total (Pa)

2. Kelembaban Relatif (*Relative Humidity*)

Didefinisikan sebagai perbandingan tekanan uap parsial (P_w) terhadap tekanan uap jenuh (P_s), pada suhu konstan yang hasilnya dinyatakan dalam satuan %. Berdasarkan definisi tersebut maka kelembaban relatif dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Bala, 2017:32).

$$RH = \frac{P_w}{P_s} \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

$$rh = \frac{P_w}{P_s} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana:

RH, rh = *relative humidity*

P_w = tekanan parsial uap air (Pa)

P_s = tekanan uap saat terjadi saturasi (Pa)

Kelembaban relatif dapat dicari dengan mensubstitusikan persamaan 2.13 dengan persamaan 2.11. Sehingga persamaan 2.13 menjadi (Bala, 2017:33)

$$\begin{aligned} H &= \frac{0,622P_w}{P-P_w} \\ &= \frac{0,622 (rh)P_s}{(P-(rh)P_s)} \\ rh &= \frac{HP}{(H+0,622)P_s} \dots\dots\dots(2.14) \end{aligned}$$

3. Volume Spesifik

Volume spesifik adalah volume ruang yang diisi oleh 1 kg udara kering. Sedangkan volume spesifik udara lembab didefinisikan sebagai volume total 1 kg udara kering dan uap air yang menyertainya. Berat spesifik udara lembab sama dengan kebalikan dari volume spesifik. Dengan menggunakan hukum Amagat volume spesifik udara lembab dirumuskan dengan (Bala, 2017:33).

$$v_{\text{moist}} = (0,00283 + 0,00456H) (T_a + 273,15) \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

- v_{moist} = volume spesifik udara lembab (m^3/kg)
- H = rasio kelembaban (kg/kg)
- T_a = temperatur udara kering ($^{\circ}\text{C}$)

4. Tekanan Uap

Tekanan uap didefinisikan sebagai tekanan parsial yang diberikan oleh uap air yang ada di udara lembab. Tekanan yang diberikan udara sepenuhnya jenuh dengan uap air disebut tekanan uap jenuh dinotasikan dengan P_s . Persamaan tekanan uap jenuh sebagai fungsi suhu dirumuskan oleh Chambell (1977) (Bala, 2017:33).

$$P_s = \exp \left[52.576 - \frac{6796.5}{T_{ab}} - 5.028 \ln(T_{ab}) \right] \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

- P_s = tekanan uap jenuh (Pa)
- T_{ab} = temperatur ($^{\circ}\text{K}$)

5. Entalpi

Entalpi adalah kandungan panas pada suatu zat tertentu. Entalpi pada udara lembab adalah kandungan panas pada udara lembab per berat udara kering pada suatu suhu tertentu (Bala, 2017:35).

$$h = 1.0048 T_a + H (2501.64 + 1.88 T_a) \dots\dots\dots (2.17)$$

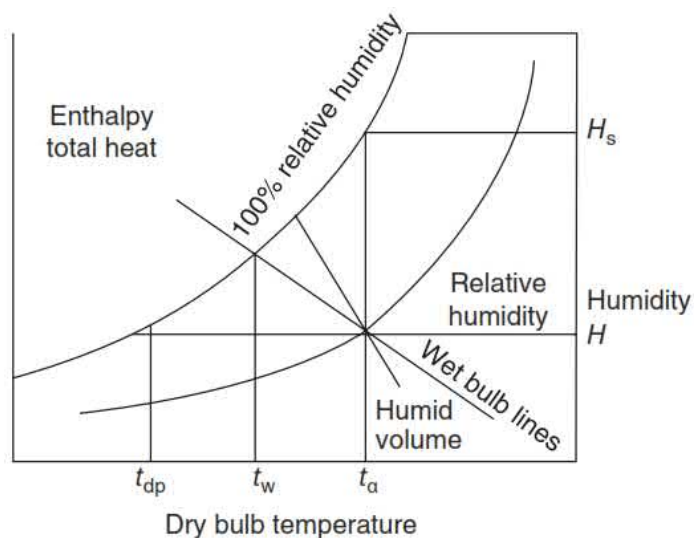
Dimana:

- h = entalpi udara lembab (kJ/kg)
- T_a = temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
- H = rasio kelembaban (kg/kg)

2.2.5 Metode Psikometrik

Grafik psikrometri dapat digunakan untuk mengetahui sifat termodinamika udara pada satu atmosfer yang meliputi suhu bola kering, suhu bola basah, suhu titik embun, rasio kelembaban, kelembaban relatif, volume lembab dan nilai entalpi. Grafik psikrometri yang ditunjukkan pada gambar 2.3 dapat mengilustrasikan bagaimana kondisi suatu udara dapat ditentukan melalui dua garis propertis untuk menentukan propertis lainnya. Contohnya adalah ketika ingin mengukur kelembaban udara tertentu, langkah yang harus dilakukan adalah dengan menentukan temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara tersebut secara bersamaan.

Setelah diketahui nilai dari temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara tersebut kelembaban dapat ditentukan dengan melihat garis pada psikometrik yang memotong garis jenuh antara temperatur bola basah dan temperatur bola kering tersebut.



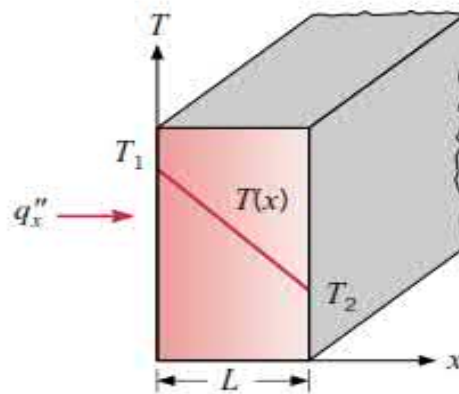
Gambar 2.3 Grafik Psikometrik
(Sumber: Bala, 2017:39)

2.2.6 Perpindahan Panas

Perpindahan panas terjadi akibat adanya perbedaan temperatur. Berdasarkan hukum termodinamika kedua secara alami panas akan mengalir dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah. Mekanisme perpindahan panas dibagi menjadi tiga yaitu konduksi, Konveksi dan Radiasi (Alfat, 2016:8)

a. Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi terjadi pada benda yang saling berkontak secara langsung. Panas pada perpindahan panas secara konduksi merambat dari satu bagian ke bagian benda lainnya yang saling berkontak tanpa diikuti perpindahan partikelnya.



Gambar 2.4 Perpindahan Panas Konduksi
(Sumber: Incropera, *et al.* 2007: 4)

Laju perpindahan secara konduksi dirumuskan dengan persamaan berikut (Incropera, *et al.* 2007: 98)

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$q_x = -k \frac{A}{L} (T_1 - T_2) \dots\dots\dots (2.19)$$

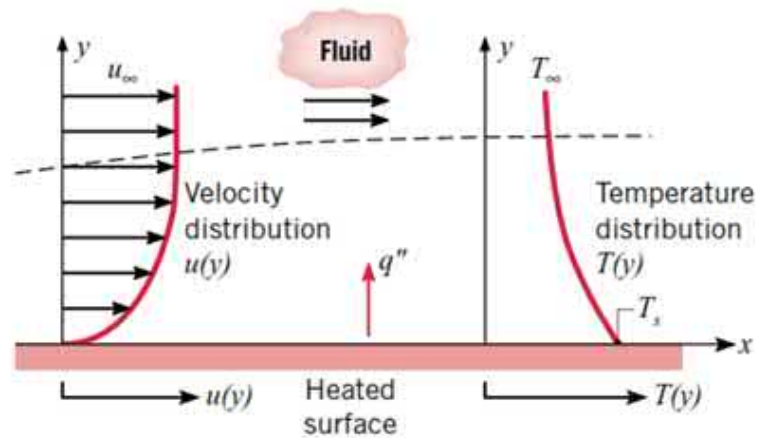
Dimana:

q_x	= laju perpindahan panas konduksi (W/m ²)
A	= luas penampang bidang (m)
K	= konduktivitas termal bahan (W/m.C)
$\frac{dT}{dx}$	= perbedaan suhu
T	= temperatur (°C)
L	= tebal (m)

Laju perpindahan panas konduksi dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal bahan. Nilai konduktivitas termal bahan menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan panas, semakin besar nilai konduktivitasnya maka semakin besar pula panas yang mengalir pada bahan tersebut. Nilai konduktivitas yang besar menunjukkan bahwa benda tersebut adalah penghantar panas yang baik sedangkan sebaliknya semakin rendah nilai konduktivitasnya maka benda tersebut kurang baik dalam menghantarkan panas (Garnier, *et al.* 2005 dalam Ketut, 2017:110).

b. Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah perpindahan panas yang disertai dengan perpindahan partikelnya, perpindahan panas ini terjadi pada permukaan benda padat dan fluida (cairan atau gas) (Haryadi dan Mahmudi, 2012:6). Suatu benda dapat menjadi panas ataupun dingin jika ada fluida panas ataupun fluida dingin yang mengalir di permukaannya, begitu pula sebaliknya fluida dapat menjadi panas ataupun dingin apabila benda di sekitarnya memiliki suhu yang panas ataupun dingin. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan atau transfer panas di antara fluida dan permukaan benda yang dilewatinya.



Gambar 2.5 Perpindahan Panas Konveksi
(Sumber: Incropera, *et al.* 2007:6)

Laju perpindahan panas secara konveksi pada permukaan benda dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Incropera, *et al.* 2007:353):

$$q_c = hA_s (T_w - T_f) \dots\dots\dots (2.20)$$

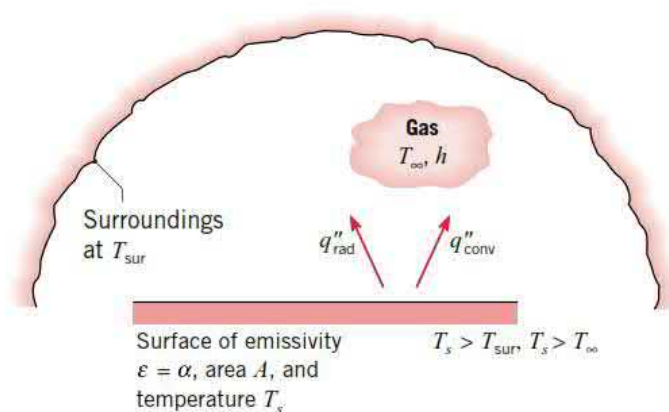
Dimana:

- q_c = laju perpindahan panas konveksi (W)
- A = luas penampang bidang (m^2)
- h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2.C$)
- T_w = temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)
- T_f = temperatur fluida ($^{\circ}C$)

Perpindahan panas secara konveksi dibedakan menjadi dua yaitu konveksi bebas dan konveksi paksa. Konveksi bebas terjadi karena adanya perbedaan suhu dan perbedaan *densitas* (kerapatan) tanpa adanya dorongan dari luar yang mempengaruhinya, sedangkan konveksi paksa terjadi akibat adanya dorongan dari luar. Contoh untuk fenomena terjadinya konveksi paksa adalah plat panas yang ditiup udara dengan menggunakan blower (Umrowati, 2011: 2).

c. Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi di antara dua benda tanpa adanya media penghantar (Haryadi dan Mahmudi, 2012:6). Contohnya adalah perpindahan panas yang terjadi adalah panas matahari yang sampai ke bumi. Laju perpindahan panas secara radiasi dapat dicari dengan rumus berikut (Incropera, *et al.* 2007:10):



Gambar 2.6 Perpindahan Panas Rdiasi
(Sumber: Incropera, *et al.* 2007:9)

$$q_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_s^4 - T_\infty^4) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana:

- Q_r = laju perpindahan panas radiasi (W)
- ϵ = emisivitas panas permukaan ($0 \leq \epsilon \leq 1$)
- σ = konstanta Stefan Boltzman $5,67 \times 10^{-8}$ (W/m²K⁴)
- T_s^4 = temperatur permukaan (K⁴)
- T_∞^4 = temperatur sekitar (K⁴)

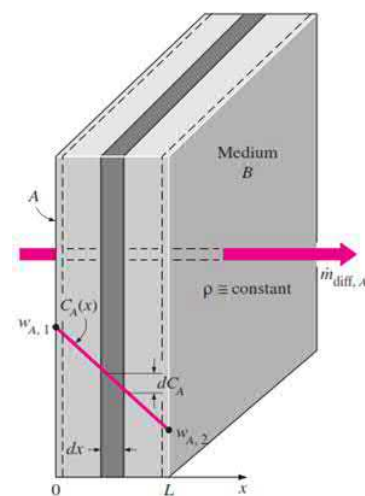
2.2.7 Perpindahan Massa

Perpindahan massa terjadi akibat adanya perbedaan konsentrasi antara dua medium yang berbeda. Proses perpindahan massa sama seperti perpindahan panas. Massa yang berdifusi dianggap sebagai panas yang bergerak dan tempat massa

berdifusi disebut medium tempat panas bergerak. Perpindahan panas dapat dijelaskan dengan hukum fourier sedangkan perpindahan massa dapat dijelaskan dengan hukum fick's. Perpindahan massa terjadi melalui dua hal yaitu perpindahan massa secara konduksi dan perpindahan massa secara konveksi (Muhardityah, 2014:68).

a. Perpindahan massa konduksi

Hukum fick's menyatakan bahwa laju perpindahan massa disuatu tempat dalam campuran gas, larutan cair atau padatan sebanding dengan perbedaan konsentrasi pada tempat tersebut (Cengel, 2002: 721). Perpindahan massa akan terjadi pada tempat yang memiliki konsentrsai tinggi menuju tempat berkonsentrasi rendah.



Gambar 2.7 Perpindahan Massa Konduksi
(Sumber: Cengel, 2002:733)

Untuk menghitung laju perpindahan massa secara konduksi digunakan hukum ficks, sehingga laju perpindahan massa secara konduksi dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Cengel, 2002:733).

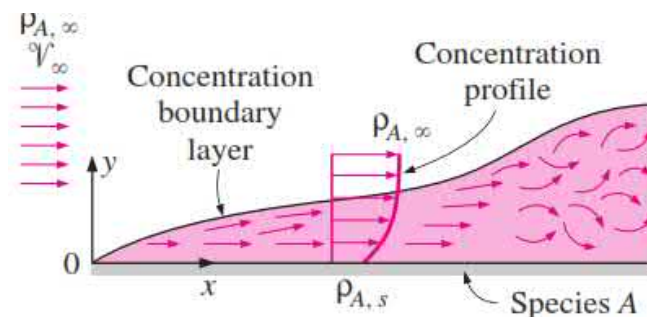
$$N = -DA \frac{d\rho}{dx} = DA \frac{(\rho_A - \rho_B)}{L} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

- N = laju penguapan (kg/s)
 D = koefisien difusi massa suatu zat pada mediumnya (m^2/s)
 A = luas penampang perpindahan massa (m)
 ρ_A = kerapatan atau density zat A (kg/m^3)
 ρ_B = kerapatan atau density zat B (kg/m^3)
 L = ketebalan dinding benda (m)

b. Perpindahan massa konveksi

Perpindahan massa secara konveksi adalah mekanisme perpindahan massa antara permukaan suatu benda dan fluida bergerak, yang melibatkan difusi massa dan gerakan fluida. Semakin cepat pergerakan fluida maka akan semakin besar massa air pada bahan yang diuapkan. Laju perpindahan massa konveksi dirumuskan dengan persamaan berikut (Cengel, 2002:756).



Gambar 2.8 Perpindahan Massa Konveksi
(Sumber: Cengel, 2002:754)

$$m_{\text{evap}} = h_m A (\rho_{A,s} - \rho_{A,\infty}) \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

- m_{evap} = laju penguapan (kg/s)
 h_m = koefisien perpindahan massa konveksi (m/det)
 A = luas penampang perpindahan panas (m^2)
 ρ_s = massa jenis pada permukaan benda (kg/m^3)
 ρ_{∞} = massa jenis fluida yang mengalir (kg/m^3)

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh kelembaban relatif terhadap laju perpindahan massa, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kelembaban relatif udara mempengaruhi nilai kadar uap air, tekanan uap, nilai entalpi, volume spesifik dan laju perpindahan massa yang terjadi.
2. Meningkatnya nilai kelembaban pada udara akibat laju perpindahan massa mempengaruhi perubahan suhu pada udara pengering..
3. Laju perpindahan massa yang terjadi pada bahan yang dikeringkan akan semakin menurun dengan semakin bertambahnya waktu pengeringan, hal ini ditandai dengan perubahan massa pada bahan yang semakin kecil pada setiap pengukuran berat bahan.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian mengenai pengaruh kelembaban relatif terhadap laju perpindahan massa adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian kualitas bahan pada hasil pengeringan dengan variasi kelembaban relatif agar dapat diketahui nilai kelembaban yang paling baik untuk proses pengeringan bahan makanan.
2. Pengembangan alat penelitian sangat diperlukan terutama untuk pengaturan variabel penelitian agar variasi yang dilakukan pada penelitian lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Amanto, B. S., Siswanti dan A, Atmaja. 2015. Kinetika Pengeringan Temu Giring (Curcuma Heyneana Valetton & Van zjip) Menggunakan Cabinet Dryer Dengan Perlakuan Pendahuluan Blanching. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian VIII (2)*:107-114
- Bala, B. K. 2017. *Drying and Storage of Cereals Grains*. Second Edition. Bangladesh. John Wiley & Sons, Ltd.
- Cengel, Y, A. 2002. *Heat Transfer*. International Edition. New York. McGraw-Hill Book.
- Chan, Y. dan A. Darius. 2018. Analisis Pengeringan Sohun dengan Mesin Pengering Hybrid Tipe Konveyor Otomatis. *Jurnal Teknik Mesin Untirta IV (2)*: 39-42.
- Djaeni, M. dan D. A. Sari. 2015. Low Temperature Seaweed Drying Using Dehumidified Air. *Procedia Environmental Sciences 23*: 2-10.
- Estiasih, T. dan Kgs. Ahmadi. 2009. *Teknologi Pengolahan Pangan*. Edisi 1. Jakarta. Bumi Aksara.
- Hani, A. M. 2012. Pengeringan Lapisan Tipis Kentang (*Solanum Tuberosum*. L) Varietas Granola. *Skripsi*. Program Studi Teknik Pertanian. Makassar.
- Haryadi. dan A. Mahmudi. 2012. *Buku Bahan Ajar Perpindahan Panas*. Kurikulum 2007. Bandung. Politeknik Negeri Bandung.
- Hasanah, H. 2016. Teknik- Teknik Observasi. *Jurnal at- Taqaddum 8 (1)*: 21-46.
- Istadi, S. Sumardino. dan D. Soetrisnanto. 2002. Penentuan Konstanta Pengeringan dalam Sistem Pengeringan Lapis Tipis (Thin Layer Drying). *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia*. Hotel Sahid Jaya. Jakarta. 1-5.
- Incropera, F. P., D. P. Dewitt., T. L. Bregman. dan A. S. Lavine. 2006. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Six Edition. United States of America. Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Jangam, S. V., C. L. Law. Dan A. S. Mujumdar. 2010. *Drying Of Foods, Vegetables and Fruits*. Volume 1. Singapore. TPR Group.
- Kim, H. S., Y. Matsushita., M. Oomori., T. Harada., J. Miyawaki., H. Yoon. dan I. Mochida. 2013. *Fuel 105*: 415-424.
- Maulana, R., M. Juarsa., K. Susanto. dan J. P. Witoko. 2016. Karakterisasi Flowmeter untuk Laju Aliran Rendah Pada Sirkulasi Alami di Untai Fassip-01. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Universitas Muhammadiyah Jakarta. Jakarta. 1-7.
- Muchammad. 2006. Pengaruh Temperatur Regenerasi Terhadap Penurunan Kelembaban Relatif Dan Efektifitas Penyerapan Uap Air Pada Alat Uji Dehumidifier Dengan Desiccant Silica Gel. *Momentum2 (2)*: 32-40.
- Muhardiyah dan M. Hazwi. 2014. Pengujian Performasi Mesin Pengering Produk Pertanian Sistem Tenaga Surya Tipe Kolektor Bersirip. *Jurnal E- Dinamis 9 (1)*: 67-74
- Mujumdar, A. S. 2006. *Handbook of Industrial Drying*. Third Edition. Poland. Taylor & Francais Group.

- Nesri, T. V., A. Aziz. dan R. I. Mainil. 2016. Karakteristik Mesin Pengering Pakaian Menggunakan AC (Air Conditioner) dengan Siklus Kompresi Uap Sistem Udara Terbuka. *Jurnal Sains dan Teknologi* 15 (2): 63-68.
- Nurba, D. 2008. Analisis Distribusi Suhu, Aliran Udara, RH dan Kadar Air dalam In- Store Dryer (ISD) Untuk Biji Jagung. *Tesis*. Sekolah Pasca Sarjana Institue Pertanian Bogor. Bogor.
- Pratama, H. A. 2007. Mempelajari Karakteristik Pengeringan Dengan Cara Menentukan Kadar Air Kesetimbangan Dan Konstanta Pengeringan Buah Mahkota Dewa (*Phalaria Macrocarpa* [Scheff.] Boerl.). *Skripsi*. Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pu, H., Z. Li., J. Hui. dan G. S. V. Rghavan. 2016. Effect Of Relative Humidity On Microwave Drying Of Carrot. *Journal Of Food Engineering*: 1-14
- Kurniawan, Y., Ruslani. dan F. A. Anggriawan. 2017. Analisa Kinerja Sistem Heating Dehumidifier Menggunakan AC Split Untuk Pengeringan Ikan. *Jurnal Teknologi Terapan* 3 (1): 41-47.
- Rahayuningtyas, A. dan S. I. Sari. 2016. Pengaruh Suhu dan Kelembaban Udara pada Proses Pengeringan Singkong (Studi Kasus: Pengering Tipe Rak). *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*: 99-104.
- Sabudin, S., M. Z. H. Remlee. dan M. F. M. Batcha. 2014. Effect Of Relative Humidity On Drying Kinetics Of Agricultural Products. *Aplied Mechanic and Mterials* 699: 257-262.
- Syahrum. dan Salim. 2012. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Bandung. Citapustaka Media.
- Umrowati, B. Widodo. dan Kamiran. 2011. Analisis Pengaruh Perpindahan Panas Terhadap Karakteristik Lapisan Batas pada Pelat Datar. *Jurnal Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. 1-9.
- Widyani, R. dan T. Suciaty. 2008. *Prinsip Pengawetan Pangan*. Edisi Tahun 2008. Cirebon: Swagati Press.