

**EFEK PROSES PEMBEKUAN TERHADAP KARAKTERISTIK  
PENGERINGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
*MICROWAVE VACUUM DRYING***

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**OLDY FAHLOVVI**  
**NIM. 145060200111010**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EFEK PROSES PEMBEKUAN TERHADAP KARAKTERISTIK  
PENGERINGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
MICROWAVE VACUUM DRYING**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**OLDY FAHLOVVI**  
**NIM. 145060200111010**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 10 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

**Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.**  
NIP. 19740121 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

**Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.**  
NIP. 19890102 201504 2 002

Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1



**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 077/UN10.F07.12.21/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**OLDY FAHLOVVI**

Dengan Judul Skripsi :

**EFEK PROSES PEMBEKUAN TERHADAP KARAKTERISTIK PENGERINGAN DENGAN  
MENGUNAKAN METODE MICROWAVE VACUUM DRYING**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

10 IIII 2018

Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D**

NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**

NIP. 19740930 200012 1 001

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur penjiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (Undang-undang Nomor 20 Tahun 2003 Pasal 25 ayat (2) dan Pasal 70).

Malang, 10 Juli 2018

Mahasiswa,



Oldy Fahlovvi

NIM. 145060200111010

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



JUDUL SKRIPSI :

EFEK PROSES PEMBEKUAN TERHADAP KARAKTERISTIK PENGERINGAN  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE *MICROWAVE VACUUM DRYING*

Nama Mahasiswa : Oldy Fahlovvi  
NIM : 145060200111010  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat (bila ada) : Teknik Konversi Energi

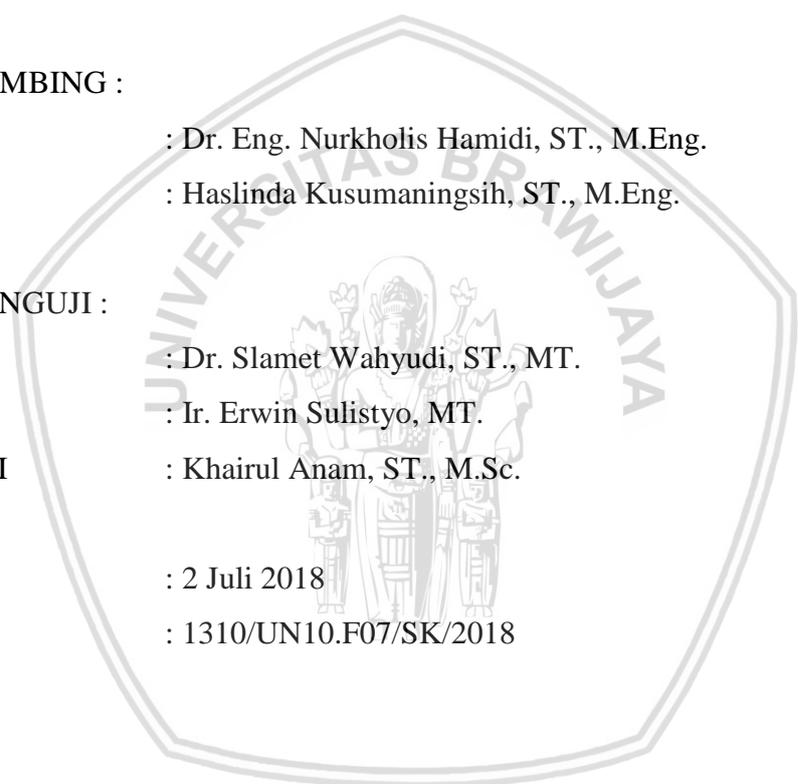
KOMISI PEMBIMBING :

Pembimbing I : Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng.  
Pembimbing II : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji I : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
Dosen Penguji II : Ir. Erwin Sulistyono, MT.  
Dosen Penguji III : Khairul Anam, ST., M.Sc.

Tanggal Ujian : 2 Juli 2018  
SK Penguji : 1310/UN10.F07/SK/2018





*Untuk motivasi dan inspirasi dikala suka maupun duka  
Papa, mama dan kakak  
Hanya sebuah akhir pada awal yang baru*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul, “**Efek Proses Pembekuan Terhadap Karakteristik Pengeringan dengan Menggunakan Metode *Microwave Vacuum Drying***” dengan baik. Sholawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Besar Muhammad SAW.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu, membimbing, memberi petunjuk, dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini:

1. Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph. D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng., Ph. D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah membantu kelancaran administrasi.
4. Dr. Eng. Widya Wijayanti, ST., MT., selaku Ketua Kelompok Dasar Keahlian Konsentrasi Konversi Energi
5. Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M. Eng., selaku dosen pembimbing 1 dan Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing 2 yang telah membantu dan telah memberi banyak saran, masukan, serta motivasi dalam penyusunan skripsi.
6. Fikrul Akbar Alamsyah, ST., MT., selaku Dosen pendamping akademik.
7. Seluruh Dosen Pengajar, Staf Administrasi, dan Karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya untuk mendukung penyusunan skripsi ini.
8. Kedua orang tua tercinta, Abdilah Subrata dan Nursanti, serta kakak Sheilla Lovinna. Terimakasih tak terhingga atas seluruh doa, nasihat, inspirasi, dan dukungan yang telah diberikan.
9. Ocha Armalia Fadelo, terimakasih atas doa, inspirasi, kegembiraan dan dukungan yang telah diberikan dikala suka maupun duka dalam penyusunan skripsi ini.
10. Teman-teman Sukses Terus, Youlanda Louis Anggara (Yolan), Restu Firmansyah (Restu), Adriaзка Faza Sabila (Azka), I Gusti Ngurah Brahtemara Isyana (Jenno), Muchalis Zikramansyah Masuku (Wisra), dan Gheny Ahmad Jibrily (Gheny). Terimakasih telah memberikan persahabatan yang berarti.

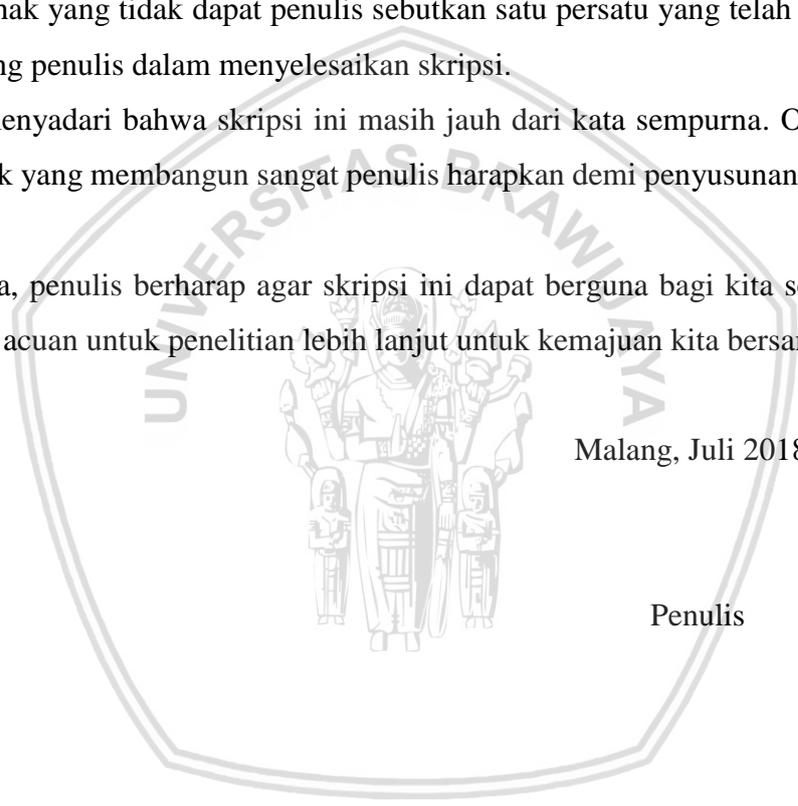
11. Keluarga Besar Laboratorium Komputer. Kepada Bapak Bayu Satria Wardana, St., M.Eng selaku kepala laboratorium, Mas Anang selaku laboran, seluruh asisten Laboratorium Komputer : mas Rizal, mas Ganes, mas Kemal, mas Arief, mas Veda, mbak Mia, mbak Happy, mas Agusta, mas William, mas Candra, mas Lukman, mbak Meylisa, Topan, Abdul, Amir, Nandika, Akbar, Wildan, Sela, Amal, Cahya, Tio. Terimakasih atas pengalaman yang telah diberikan.
12. Teman-teman seperjuangan Mesin 2014 (MAF14), terimakasih atas solidaritas, kebersamaan, dan semua memori yang tak akan pernah terlupakan.
13. Keluarga Besar Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan skripsi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi penyusunan skripsi dengan baik.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat berguna bagi kita semua sehingga dapat menjadi acuan untuk penelitian lebih lanjut untuk kemajuan kita bersama.

Malang, Juli 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>SUMMARY</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Pengertian Pengeringan .....	5
2.3 Perkembangan Proses Pengeringan .....	6
2.3.1 Penjemuran ( <i>Sun Drying</i> ).....	6
2.3.2 Pengeringan Udara Panas ( <i>Hot Air Drying</i> ).....	7
2.3.3 Pengeringan Beku ( <i>Freeze Drying</i> ).....	8
2.3.4 <i>Microwave Vacuum Drying</i> .....	10
2.4 Mekanisme Pengeringan.....	11
2.5 Faktor Pengeringan.....	12
2.6 Proses Pembekuan .....	14
2.7 Karakteristik Penguapan Air.....	15
2.7.1 Kadar Air .....	15
2.7.2 Anomali Air .....	16
2.7.3 Laju Pengeringan Air.....	17
2.8 Komponen Mesin Pendingin .....	18
2.9 Pompa Vakum .....	18
2.10 Pemakaian Teknologi Gelombang Elektromagnetik dalam Perindustrian .....	19
2.11 Hipotesis .....	20



<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	21
3.1 Metode Penelitian .....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	21
3.3 Variabel Penelitian .....	21
3.4 Instalasi Penelitian .....	22
3.5 Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.6 Prosedur Penelitian .....	25
3.6.1 <i>Microwave Vacuum Drying</i> Tanpa Proses Pembekuan .....	25
3.6.2 <i>Microwave Vacuum Drying</i> dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan .....	25
3.6.3 <i>Microwave Vacuum Drying</i> dengan Penambahan Proses Pembekuan Diantara Proses Pengeringan .....	26
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1 Pengolahan Data dan Analisis .....	29
4.1.1 Data Hasil Penelitian.....	29
4.1.2 Pengolahan Data .....	29
4.2 Data Hasil Perhitungan .....	30
4.3 Grafik dan Pembahasan .....	34
4.3.1 Analisis Hubungan Massa tiap Variasi terhadap Waktu.....	34
4.3.2 Analisis Hubungan Laju Pengeringan tiap Variasi terhadap Waktu.....	35
4.3.3 Analisis Hubungan Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu.....	36
4.3.4 Analisis Hubungan Distribusi Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu .....	38
4.3.5 Perbandingan Ukuran dan Warna Spesimen Hasil Pengeringan tiap Variasi.....	40
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	43
5.1 Kesimpulan .....	43
5.2 Saran .....	43
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	



**DAFTAR TABEL**

<b>No.</b>	<b>Judul</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1	Tekanan Uap Jenuh Air .....	19
Tabel 4.1	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan Tanpa Proses Pembekuan .....	30
Tabel 4.2	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan .....	31
Tabel 4.3	Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan .....	32
Tabel 4.4	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu Tanpa Proses Pembekuan .....	33
Tabel 4.5	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan .....	33
Tabel 4.6	Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan .....	33

## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Laju pengeringan <i>sun drying</i> jagung tongkol .....	6
Gambar 2.2	Potongan longitudinal dari produk yang dikeringkan menggunakan sistem <i>hot air drying</i> .....	7
Gambar 2.3	<i>Moisture content hot air drying</i> pada <i>thai red curry paste</i> .....	8
Gambar 2.4	Grafik pengeringan a) vakum <i>freeze drying</i> b) <i>atmosfer freeze drying</i> .....	9
Gambar 2.5	Perbedaan mekanisme (a) proses pengeringan biasa dan (b) proses pengeringan beku.....	10
Gambar 2.6	Gambar mri dari lobak selama dehidrasi pengeringan vakum menggunakan gelombang ultrasonik. ....	10
Gambar 2.7	Celah yang timbul pada bagian dalam spesimen dengan penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan .....	14
Gambar 2.8	Celah yang timbul pada bagian permukaan spesimen dengan penambahan proses pembekuan di antara pengeringan.....	15
Gambar 2.9	Volume air pada suhu 4°C .....	17
Gambar 2.10	Diagram fase H <sub>2</sub> O (air) .....	18
Gambar 2.11	Pengaruh gelombang mikro dalam proses pengeringan pada wortel.....	20
Gambar 3.1	Instalasi alat .....	22
Gambar 3.2	<i>Vacuum chamber</i> .....	24
Gambar 3.3	<i>Moisture analyzer</i> .....	24
Gambar 3.4	Diagram alir penelitian .....	27
Gambar 4.1	Hubungan massa tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan .....	34
Gambar 4.2	Hubungan laju pengeringan tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan.....	35
Gambar 4.3	Rata-rata laju pengeringan pada beda variasi (1) tanpa pembekuan, (2) pembekuan sebelum pengeringan, dan (3) pembekuan di antara pengeringan .....	36

Gambar 4.4	Hubungan kadar air tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan .....	37
Gambar 4.5	Rata-rata kadar air akhir pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan .....	38
Gambar 4.6	Distribusi kadar air pada tiap titik pengujian dengan variasi (a) tanpa pembekuan, (b) penambahan pembekuan sebelum pengeringan, dan (c) penambahan pembekuan di antara pengeringan .....	40
Gambar 4.7	Ukuran dan warna spesimen pada variasi tanpa pembekuan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan .....	41
Gambar 4.8	Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan sebelum pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil Pengeringan.....	41
Gambar 4.9	Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan di antara pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan .....	42



**DAFTAR SIMBOL**

<b>Besaran Dasar</b>	<b>Satuan dan Singkatannya</b>	<b>Simbol</b>
Massa Jenis	kilogram/meter kubik ( $\text{kg/m}^3$ )	$\rho$
Massa	kilogram (kg)	m
Volume	Meter kubik ( $\text{m}^3$ )	V
Laju Pengeringan	gram/menit (g/menit)	$\bar{V}$
Selisih Massa Spesimen	gram (g)	$\Delta m$
Waktu Pengeringan	menit	t



## RINGKASAN

**Oldy Fahlovvi**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Efek Proses Pembekuan Terhadap Karakteristik Pengeringan Menggunakan Metode Microwave Vacuum Drying*, Dosen Pembimbing: Nurkholis Hamidi dan Haslinda Kusumaningsih.

Kebutuhan pangan merupakan salah satu kebutuhan pokok yang terus meningkat setiap tahunnya karena pertumbuhan penduduk yang cepat. Kecenderungan konsumen saat ini mengarah pada produk yang menonjolkan sifat siap saji dimana salah satunya ialah produk berbentuk bubuk hasil pengeringan. Penelitian kali ini bertujuan untuk menganalisa kualitas hasil pengeringan menggunakan *microwave vacuum drying*. *Microwave vacuum drying* sendiri merupakan suatu proses pengeringan dengan bantuan gelombang mikro untuk mempercepat proses pengeringan. Selain itu pengeringan dengan metode ini menggunakan tekanan *vacuum* agar dapat menurunkan nilai titik didih air, sehingga pengeringan pada temperatur rendah dapat terjadi.

Pada penelitian ini digunakan 3 perlakuan yang berbeda kepada setiap sampel pengeringan (tanpa pembekuan, penambahan pembekuan sebelum pengeringan, dan penambahan pembekuan diantara pengeringan) untuk memperlihatkan hasil pengeringan yang berkualitas. Setiap variasi memiliki prosedur yang berbeda tetapi menghasilkan proses akhir berupa analisa yang sama, dimana setiap 3 menit pengurangan massa dari setiap spesimen diukur sampai menuju konstan. Hasil akhir dari setiap metode pengeringan yang diperoleh yaitu kadar air, laju pengeringan dan bentuk dari hasil pengeringan masing-masing.

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan proses pembekuan dapat memberikan laju pengeringan yang lebih cepat serta kadar air akhir yang lebih sedikit dibandingkan tanpa adanya penambahan proses pembekuan. Hal ini dapat terjadi akibat timbulnya celah pada spesimen sebagai jalur keluarnya air sehingga proses pengeringan menjadi lebih cepat. Selain itu, penambahan proses pembekuan dapat memberikan hasil pengeringan yang lebih maksimal dimana penyusutan volume spesimen dan perubahan warna yang terjadi jauh lebih sedikit dibandingkan dengan proses pengeringan yang tidak diikuti dengan penambahan proses pembekuan.

**Kata Kunci:** Kadar air, laju pengeringan, *microwave*, pembekuan, pengeringan, tekanan *vacuum*



## SUMMARY

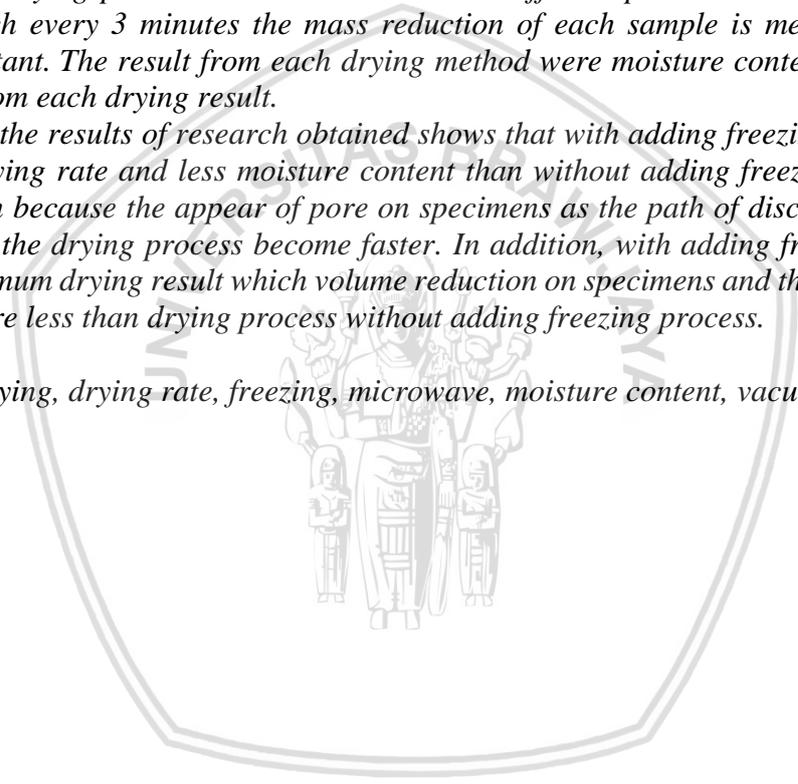
**Oldy Fahlovvi**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, May 2018, *Freezing Effect on Drying Characteristic using Microwave Vacuum Drying Method*, Academic Supervisor: Nurkholis Hamidi and Haslinda Kusumaningsih.

The needs of food is one of the main necessary which has risen steadily every year because the rapid growth of population. The tendency of consumers now leads to fast products which one of them is powder shaped product from drying process. This study have a purpose to analyze the quality of drying products using microwave vacuum drying.

In this study used three different treatment to each sample (no treatment, freezing process before drying process, and freezing process beetwen drying process) to show the quality of the drying products. Each variation had different procedure but deliver same analysis, which every 3 minutes the mass reduction of each sample is measured until it becomes constant. The result from each drying method were moisture content, drying rate and texture from each drying result.

Based on the results of research obtained shows that with adding freezing process can give faster drying rate and less moisture content than without adding freezing process. It can be happen because the appear of pore on specimens as the path of discharge of water therefore that the drying process become faster. In addition, with adding freezing process can give maximum drying result which volume reduction on specimens and the color change that happen are less than drying process without adding freezing process.

**Keywords:** Drying, drying rate, freezing, microwave, moisture content, vacuum pressure



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan pangan merupakan salah satu kebutuhan pokok yang terus meningkat setiap tahunnya. Hal ini disebabkan karena pertumbuhan penduduk yang cepat. Produk pangan yang dikehendaki oleh masyarakat modern tidak hanya mempertimbangkan unsur pemenuhan gizi, akan tetapi juga harus praktis, cepat saji, tahan lama dan tidak memerlukan tempat atau ruang penyimpanan yang lebih besar. Oleh karena itu, kecendrungan konsumen saat ini mengarah pada produk-produk yang menonjolkan sifat siap saji (instan) disamping nilai gizi. Produk pangan bubuk siap saji (instan) merupakan produk pangan yang berbentuk bubuk, berstruktur remah, mudah dilarutkan dengan air dingin maupun air panas, mudah dalam penyajian, mudah terdispersi dan tidak mengendap di bagian bawah wadah (Wirakartakusuma dkk, 1992).

Untuk membuat hasil pengolahan pangan berbentuk serbuk dibutuhkan proses pengeringan khusus dimana produk hasil proses pengeringan ini tidak boleh rusak atau terdegradasi kandungan gizinya. Saat ini beberapa jenis metode pengeringan telah digunakan secara meluas dalam masyarakat, industri dan juga unit kegiatan masyarakat, mulai dari yang tradisional sampai yang modern seperti pengeringan dengan matahari, sistem oven atau fluidisasi untuk bahan buah-buahan, *microwave* dan infra merah, pengering vakum, dan pengering dalam suhu rendah (*Freeze drying*). Timbulnya rasa yang tidak diinginkan, perubahan warna, degradasi vitamin dan hilangnya asam amino adalah masalah yang sering sekali ditemukan dalam produk hasil pengeringan.

*Hot air drying* memiliki laju pengeringan yang cepat, akan tetapi penggunaan suhu yang tinggi pada proses pengeringan dapat menurunkan kualitas produk. Berdasarkan penjelasan pada latar belakang diatas, maka diperlukan sebuah sistem pengeringan yang lebih cepat dan efisien serta dapat mempertahankan kualitas produk hasil pengeringan tersebut. Beberapa penelitian sebelumnya menggunakan *microwave vacuum drying* menunjukkan dimana dengan adanya *pumping effect* yang dimiliki oleh gelombang mikro dapat mendesak air keluar dari sel sehingga proses evaporasi akan berlangsung lebih cepat. Selain itu penggunaan temperatur *freeze* pada proses pengeringan secara relatif mampu menjaga kualitas makanan karena kandungan gizi yang terdapat dalam makanan tersebut tidak terdegradasi akibat adanya kenaikan suhu.

Oleh karena itu penelitian ini diperlukan untuk membuktikan apakah ada efek proses pembekuan terhadap karakteristik pengeringan dengan menggunakan metode *microwave vacuum drying*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan kadar air dan massa spesimen hasil pengeringan menggunakan metode *microwave vacuum drying* pada beda perlakuan tanpa proses pembekuan, penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan?
2. Bagaimana perbedaan laju pengeringan spesimen menggunakan metode *microwave vacuum drying* pada beda perlakuan tanpa proses pembekuan, penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan?
3. Bagaimana distribusi kadar air spesimen hasil pengeringan menggunakan metode *microwave vacuum drying* pada beda perlakuan tanpa proses pembekuan, penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan?

## 1.3 Batasan Masalah

1. Spesimen yang dikeringkan berupa labu kuning dengan ukuran 2x2x2 cm.
2. Spesimen yang dikeringkan memiliki kadar air awal yang sama untuk masing-masing pengujian.
3. Selama proses pengeringan tidak ada panas yang berpindah dari lingkungan ke *microwave* maupun dari *microwave* ke lingkungan.
4. Spesimen yang dikeringkan menggunakan tekanan maksimal dari *vacuum pump*.

## 1.4 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan teknologi pengeringan baru yang dapat mempertahankan gizi serta tidak merusak kualitas hasil pengeringan tersebut.
2. Menemukan metode pengeringan makanan yang cepat dan hemat energi.
3. Mengembangkan teknologi pengawetan makanan tanpa penambahan zat kimia yang berbahaya.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat dijadikan bahan penelitian selanjutnya untuk mendapatkan produk yang optimal.
2. Sebagai salah satu pengembangan teknologi pengeringan makanan.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Reyes *et. al* (2015) dalam penelitiannya mengenai perubahan berat *soymilk* selama proses *freeze drying* dengan vakum dan tanpa vakum memperlihatkan waktu yang dibutuhkan dalam *freeze drying* cukup lama, akan tetapi penggunaan vakum dapat memakan waktu yang lebih lama lagi karena penggunaan pompa vakum mengakibatkan banyak air yang akan diuapkan, namun hal ini dapat membuat hasil pengeringan menjadi lebih maksimal.

S. de la Fuente-Blanco *et. al* (2006) dalam penelitiannya menggunakan gelombang mikro dalam proses pengeringan pada wortel. Hasilnya menunjukkan bahwa gelombang mikro dapat menyebabkan keluarnya molekul air dari wortel. Daya optimal yang dapat diberikan pada transduser gelombang mikro adalah sebesar 100 watt karena dapat mengurangi berat buah wortel sebesar 72% dalam waktu 90 menit.

Bai-Ngew *et.al* (2010) dalam penelitian mengenai karakteristik *microwave vacuum drying* pada keripik durian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan kadar air yang diserap antara pengeringan tanpa proses pembekuan maupun dengan adanya penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan. Akan tetapi, dengan adanya penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dapat menyebabkan laju pengeringan pada spesimen semakin cepat. Hal ini disebabkan karena energi yang dihasilkan oleh *microwave* dapat mengalami penetrasi yang lebih dalam pada spesimen yang mengalami proses pembekuan sebelumnya.

### 2.2 Pengertian Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan makanan yang telah dikenal sejak lama dimana pengeringan merupakan proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relatif kecil pada bahan pangan dengan menggunakan energi panas.

Tujuan dari proses pengeringan adalah menghilangkan kadar air pada suatu bahan untuk menghilangkan media bagi bakteri untuk hidup sehingga pertumbuhan bakteri dapat terhambat, serta memudahkan dan menghemat biaya pengangkutan, pengemasan dan penyimpanan. Di samping itu banyak bahan hasil pertanian yang hanya digunakan setelah dikeringkan terlebih dahulu seperti tembakau, kopi, dan biji-bijian. Meskipun demikian,

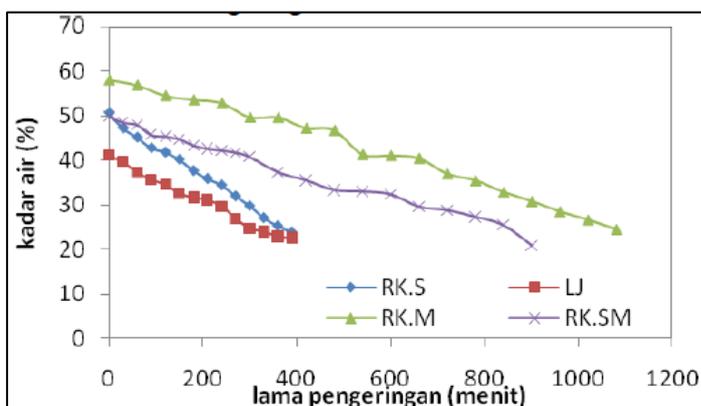
terdapat kerugian yang ditimbulkan selama pengeringan yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta terjadinya penurunan mutu bahan.

## 2.3 Perkembangan Proses Pengeringan

Dalam proses pengeringan pangan, terdapat banyak metode yang digunakan seperti halnya penjemuran (*Sun Drying*), pengeringan udara panas (*Hot Air Drying*), pengeringan kabinet (*Cabinet Drying*), pengeringan terowongan (*Tunnel Drying*), pengeringan ban berjalan (*Conveyor Drying*), pengeringan semprot (*Spray Drying*), pengeringan drum (*Drum Drying*), pengeringan vakum (*Vacuum Drying*), pengeringan beku (*Freeze drying*), pengeringan gelombang mikro dan pengeringan vakum gelombang mikro. Namun dalam penggunaannya yang paling banyak digunakan adalah pengeringan udara panas (*Hot Air Drying*) dan pengeringan beku (*Freeze drying*) karena proses tersebut lebih efektif dibanding yang lain.

### 2.3.1 Penjemuran (*Sun Drying*)

Pengeringan dengan matahari menggunakan radiasi sinar matahari dimana pengeringan ini sangat sederhana dan tidak memerlukan bahan bakar fosil untuk membangkitkan panas. Kekurangan sistem ini memerlukan tempat yang luas, waktu pemanasan yang lama (2-7 hari tergantung dari produk yang dikeringkan), ongkos buruh tinggi, kualitas produk hasil pengeringan tidak seragam, dan sangat tergantung pada cuaca. Terlebih lagi, produk menjadi tidak higienis karena ditempatkan pada ruang terbuka, sehingga kadang-kadang produk pengeringan dengan sinar matahari tidak dapat laku di pasaran. Maka Pengeringan Udara Panas (*Hot Air Drying*) dikembangkan untuk mengatasi masalah tersebut, serta pengeringan beku (*Freeze drying*) sebagai alternatif proses untuk menggantikan penjemuran bagi bahan yang sensitif terhadap panas.

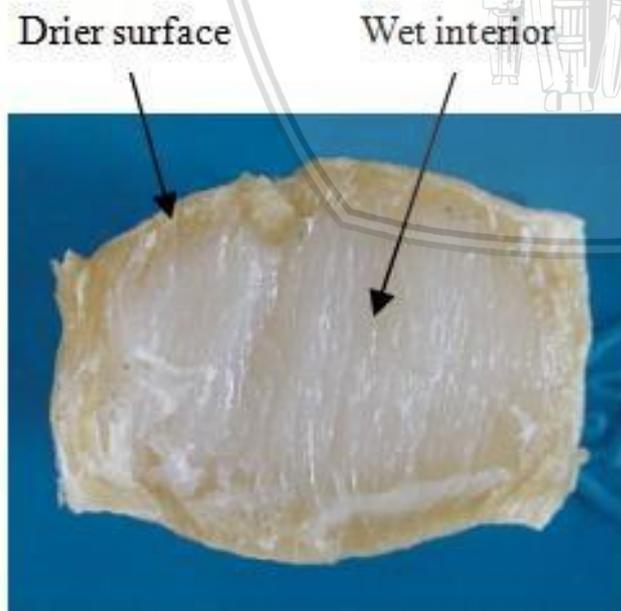


Gambar 2.1 Laju pengeringan *sun drying* jagung tongkol  
Sumber: Apriadi, et al. (2011)

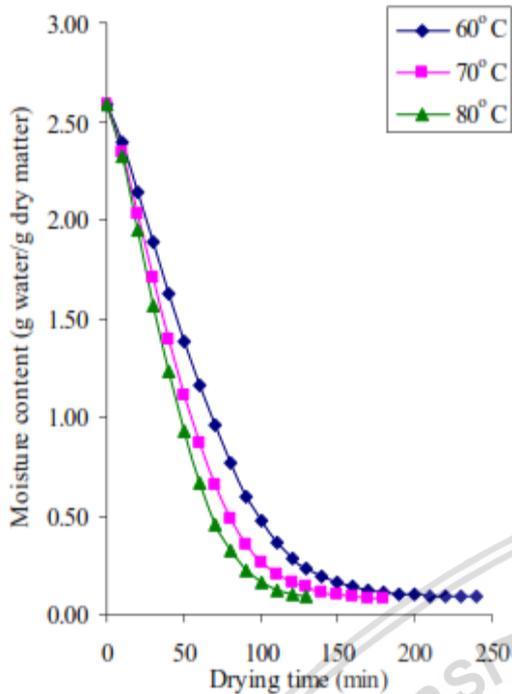
Gambar 2.1 menunjukkan laju pengeringan pada jagung tongkol dengan beberapa metode RK.S (Rumah Kaca Siang), LJ (Lantai Jemur), RK.M (Rumah Kaca Malam), dan RK.SM (Rumah Kaca Siang Malam). Pengeringan tercepat adalah pada metode lantai jemur karena langsung terkena radiasi sinar matahari, sedangkan rumah kaca siang juga relatif cepat. Pengeringan rumah kaca malam memiliki waktu paling lama dibanding yang lain karena pada saat malam hari panas yang diserap sangat sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa proses penjemuran sangat dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari sehingga proses ini cenderung memakan banyak waktu.

### 2.3.2 Pengeringan Udara Panas (*Hot Air Drying*)

Pengeringan dengan cara ini merupakan pengembangan dari *Sun Drying* dimana metode ini sudah tidak dipengaruhi oleh faktor cuaca. Metode ini menggunakan udara panas yang dihembuskan. Peralatan pengering udara panas terdiri dari pembakar gas yang menghasilkan udara panas dimana udara tersebut dialirkan ke bagian atas alat. Waktu pengeringan dengan cara ini *relative* lebih cepat, namun produk yang dihasilkan masih belum cocok untuk produk dengan kualitas baik. Udara panas cenderung merusak kualitas warna, rasa, dan kualitas produk seperti terlihat pada Gambar 2.2 dimana terlihat ujung dari spesimen yang terlalu kering sehingga merusak tekstur spesimen sedangkan bagian dalam yang masih belum kering sempurna.



Gambar 2.2 Potongan longitudinal dari produk yang dikeringkan menggunakan sistem *hot air drying*  
Sumber: Hayashi (2006)



Gambar 2.3 Moisture content hot air drying pada thai red curry paste  
Sumber: Sudatip (2008)

Gambar 2.3 menunjukkan perubahan kadar air dari *thai red curry paste* selama proses pengeringan. Hasilnya dengan jelas menunjukkan bahwa pengeringan dengan udara panas dapat mempercepat proses pengeringan. Semakin besar temperatur yang di berikan maka semakin cepat proses pengeringan akan tetapi hasil pengeringannya tidak maksimal pada temperatur yang tinggi, sesuai dengan Gambar 2.3 yang memperlihatkan bagaimana terlalu cepatnya bagian luar dari spesimen yang mengering sehingga air dibagian dalam tidak bisa keluar secara sempurna karena tidak adanya jalan keluar untuk air pada bagian dalam agar dapat menguap secara sempurna. Untuk hasil yang lebih konstan bisa dihasilkan oleh pemanasan pada temperatur antara 40-50°C (Mj. Int. J. Sci. Tech. 2008, 1(*Special Issue*), 38-49)

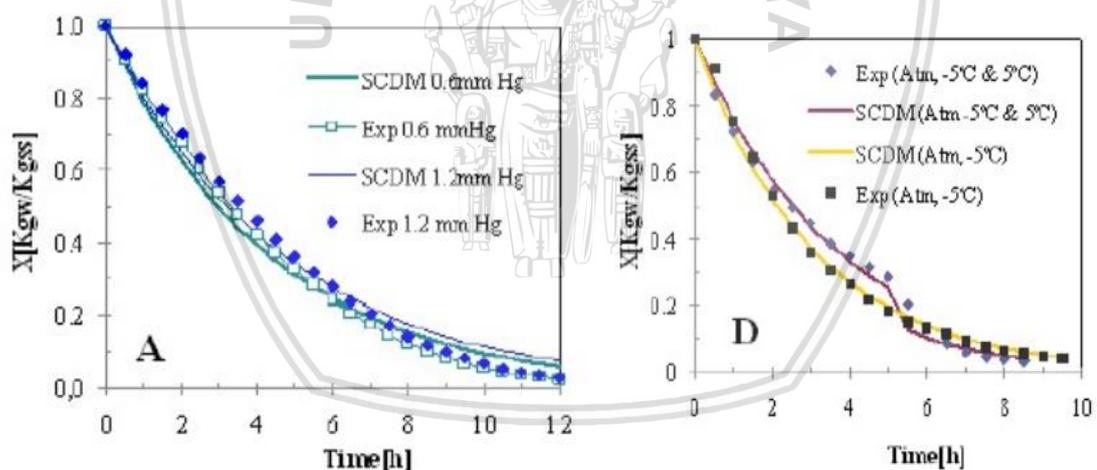
### 2.3.3 Pengeringan Beku (*Freeze drying*)

Pengering vakum dan pengering berhawa dingin dapat bekerja pada temperatur rendah serta diaplikasikan pada tekanan rendah. Pengeringan beku (*freeze drying*) adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Keunggulan pengeringan beku, dibandingkan metode lainnya, antara lain ialah:

1. Dapat mempertahankan stabilitas produk (menghindari perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik lain)
2. Dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan (pengkerutan dan perubahan bentuk setelah pengeringan sangat kecil)
3. Dapat meningkatkan daya rehidrasi (hasil pengeringan sangat berongga dan lyophile sehingga daya rehidrasi sangat tinggi dan dapat kembali ke sifat fisiologis, organoleptik dan bentuk fisik yang hampir sama dengan sebelum pengeringan).

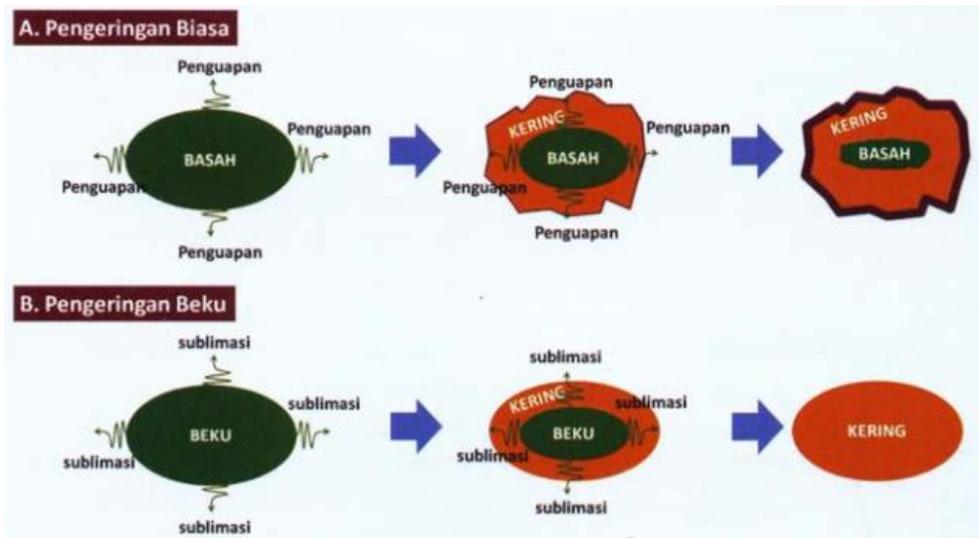
Keunggulan-keunggulan tersebut tentu saja dapat diperoleh jika prosedur dan proses pengeringan beku yang diterapkan tepat dan sesuai dengan karakteristik bahan yang dikeringkan.

Cara kerja alat dengan metode *freeze drying* adalah sebagai berikut. ekstrak cairan sebelum dimasukkan kedalam freeze dryer telah dibekukan dalam refrigerator (lemari es) minimal semalam. Setelah membeku kemudian dimasukkan ke dalam alat, alat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Kemudian alat pemvacum akan menghisap *solvent* yang telah beku (*freeze*) menjadi uap. Prinsip kerja alat ini adalah merubah fase padat(es) menjadi fase gas (uap).



Gambar 2.4 Grafik pengeringan a) vakum *freeze drying* b) atmosfer *freeze drying*  
Sumber: Alejandro Reyes (2015)

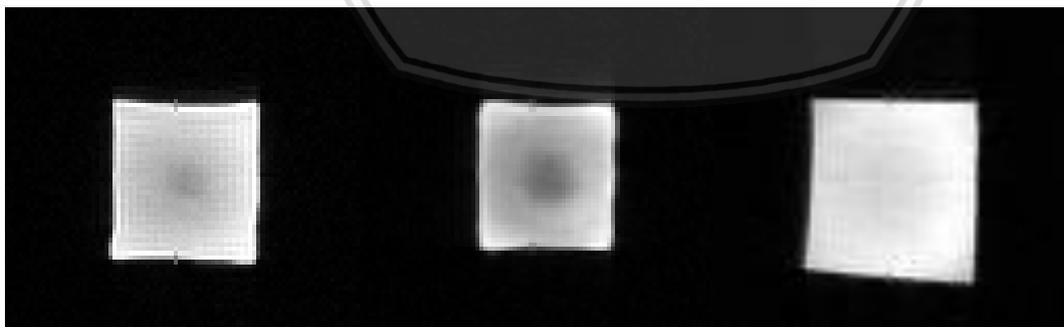
Gambar 2.4 menunjukkan perubahan berat *soymilk* selama proses *freeze drying* dengan vakum dan tanpa vakum. Hasilnya memperlihatkan waktu yang di butuhkan dalam *freeze drying* cukup lama, akan tetapi penggunaan vakum dapat memakan waktu yang lebih lama lagi dikarenakan penggunaan pompa vakum mengakibatkan makin banyaknya air yang di uapkan, namun hal ini dapat membuat hasil pengeringan menjadi lebih maksimal.



Gambar 2.5 Perbedaan mekanisme (a) proses pengeringan biasa dan (b) proses pengeringan beku  
 Sumber: *foodreview indonesia, Freeze drying Technology (2013)*

### 2.3.4 Microwave Vacuum Drying

Pengeringan ini dilakukan dengan cara menurunkan temperatur didih dari air sehingga air bisa mendidih dan menguap di bawah temperatur 100 °C. Pengeringan ini membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dari yang lain. *Microwave vacuum drying* memiliki kelebihan memperpendek waktu pengeringan dan meningkatkan kualitas produk. Penyerapan energi dengan bahan basah tergantung pada distribusi air, yang menyebabkan pemanasan selektif bagian *interior*, melindungi bagian kelembaban rendah, misalnya permukaan bahan, dari *overheating*. Gambar 2.6 menunjukkan hasil dari penggunaan *microwave vacuum drying* dimana bagian putih menunjukkan daerah dengan kelembaban tinggi dan bagian abu-abu menunjukkan area dengan kurang kelembaban.



(a) 17.5 g/g-dry  
(100%)

(b) 12.0 g/g-dry  
(68.8%)

(c) 8.65 g/g-dry  
(49.4%)

Gambar 2.6 Gambar mri dari lobak selama dehidrasi pengeringan vakum menggunakan gelombang mikro

Sumber: Tanaka (2007)

## 2.4 Mekanisme pengeringan

Dalam pengeringan, air dihilangkan dengan menggunakan prinsip dasar difusi dimana terdapat perbedaan kelembaban antara udara dengan bahan makanan yang dikeringkan. Material dikontakkan dengan udara kering dimana terjadi perpindahan massa air dari material ke udara pengering. Berdasarkan kondisi fisik yang digunakan untuk memberikan panas pada sistem dan memindahkan uap air, proses pengeringan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: (Geankoplis, 1993).

### 1. Pengeringan kontak langsung.

Pengeringan dengan penggunaan udara panas secara langsung sebagai medium pengering yang dilakukan pada tekanan *atmosferik*. Pada proses ini uap yang terbentuk akibat pemanasan terbawa oleh udara sebagai medium pengeringannya. Contoh dari pengeringan kontak langsung yaitu *hot air drying*.

### 2. Pengeringan vakum

Pengeringan dengan penggunaan logam sebagai medium pengontak panas atau efek radiasi yang dihasilkan oleh gelombang elektromagnetik sebagai medium pengeringnya dengan dibantu tekanan vakum. Pada proses ini penguapan air dapat berlangsung lebih cepat ketika digunakan pada tekanan rendah sehingga mengakibatkan pengeringan dapat terjadi pada suhu rendah. Contoh dari pengeringan vakum yaitu *microwave vacuum drying*.

### 3. Pengeringan beku

Pengeringan yang melibatkan proses *sublimasi* air dari suatu material beku dengan cara membekukan spesimen terlebih dahulu sebelum proses pengeringan dilakukan. Proses ini dilakukan dengan cara merubah fase zat cair dari fase padatan menuju fase gas. Contoh dari pengeringan beku yaitu *freeze drying*.

Pada saat suatu spesimen dikeringkan menggunakan pemanasan pada suhu *thermal*, akan terjadi dua buah proses, yaitu:

1. Perpindahan energi dari lingkungan ke sistem untuk menguapkan air yang terdapat pada permukaan suatu spesimen. Perpindahan energi berupa energi panas ini dapat berlangsung melalui 3 buah cara, yaitu konduksi, konveksi, radiasi, maupun kombinasi dari ketiganya. Banyak faktor yang berpengaruh pada proses ini, diantaranya ialah temperatur, kelembapan, laju dan arah aliran udara, bentuk fisik padatan, luas permukaan kontak dengan udara dan tekanan. Proses ini merupakan tahap penting pada awal pengeringan yaitu pada saat air bebas dihilangkan. Pada proses ini terjadi proses

difusi uap pada bagian permukaan padatan dari sistem ke lingkungan melalui lapisan film berupa udara tipis.

2. Perpindahan massa air yang terdapat di dalam suatu spesimen menuju ke permukaan. Akibat adanya perbedaan temperatur yang terjadi ketika proses penguapan berlangsung, air yang terdapat pada bagian dalam akan menuju ke permukaan spesimen tersebut. Struktur spesimen tersebut juga dapat menentukan bagaimana mekanisme aliran air yang terdapat di dalam spesimen.

Beberapa mekanisme aliran internal air yang dapat berlangsung :

1. *Difusi*

Proses mekanisme pergerakan molekul air terjadi bila nilai *equilibrium moisture content* berada di bawah titik jenuh *atmosferik* akibat adanya perbedaan konsentrasi. Contoh: pengeringan tepung, kertas, kayu, tekstil dan sebagainya.

2. *Capillary flow*.

Proses mekanisme aliran ini akan terjadi dengan cara bergerak mengikuti gaya gravitasi dan melalui celah-celah kapiler pada suatu spesimen. Hal ini akan terjadi apabila *equilibrium moisture content* berada di atas titik jenuh *atmosferik*. Contoh: pada pengeringan tanah, pasir, dll.

*Equilibrium* merupakan keadaan yang terjadi pada saat konsentrasi uap air di dalam padatan sama dengan konsentrasi uap air dalam gas. Sedangkan *equilibrium moisture content* merupakan kandungan air yang berada di dalam suatu spesimen. Proses hilangnya air tidak akan terjadi lagi apabila telah berada pada titik kesetimbangan (*equilibrium*). Tetapi kandungan air tersebut dapat berpindah lagi apabila spesimen diletakkan pada lingkungan dengan kondisi *relative humidity* yang lebih rendah (tekanan parsial uap air yang lebih rendah).

## 2.5 Faktor Pengeringan

Proses pengeringan bahan pangan dipengaruhi oleh banyak faktor dimana secara umum faktor-faktor tersebut dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu:

1. Faktor Internal

Faktor internal merupakan faktor yang berasal dari bahan pangan tersebut. Faktor-faktor tersebut adalah:

- a. Luas permukaan bahan pangan

Air menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang berada dibagian tengah akan menuju permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat

pengeringan, umumnya bahan pangan yang akan dikeringkan dipotong atau diiris terlebih dahulu. Pemotongan atau pengirisan akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat mempermudah proses keluarnya air. Potongan kecil atau membuat lapisan yang tipis juga berguna untuk mengurangi jarak keluarnya air dari benda tersebut.

b. Kadar air bahan pangan sebelum dikeringkan

Semakin besar kadar air didalam bahan maka pengeringan yang terjadi akan semakin lambat.

c. Komposisi kimia bahan

Apabila bahan pangan tersebut memiliki komposisi kimia yang mampu mengikat air maka proses pengeringan akan berlangsung lebih lama.

d. Ukuran bahan pangan

Semakin tebal ukuran suatu bahan maka semakin lama proses pengeringan akibat sulitnya air yang berada dibagian tengah untuk menguap.

e. Tekanan parsial dalam bahan pangan

Tekanan parsial adalah tekanan hipotesis gas pada saat menempati volume campuran pada temperatur yang sama. Semakin rendah tekanan parsial maka semakin rendah kelembapan udara sehingga dapat mempengaruhi proses pengeringan.

2. Faktor Eksternal

Faktor eksternal merupakan faktor yang berasal dari lingkungan atau dari luar bahan pangan. Faktor-faktor tersebut adalah:

a. Suhu

Semakin besar perbedaan suhu antar medium pemanas dengan bahan pangan akan menyebabkan semakin cepat pemindahan panas pada bahan dan semakin cepat pula penghilangan air dari bahan. Akan tetapi bila suatu bahan yang dikeringkan tidak sesuai maka akan terjadi *case hardening* atau keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalam masih basah. Untuk mengatasi hal ini maka dibutuhkan suhu yang sesuai serta merata pada semua permukaan bahan yang dikeringkan sehingga *case hardening* dapat dihindari.

b. Tekanan

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan karena semakin kecil tekanan maka kerapatan

udara semakin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan dihilangkan dari bahan.

c. Kelembapan udara

Kelembapan udara mempengaruhi pengeringan dimana semakin rendah kelembapan maka semakin cepat pengeringan. Kelembapan yang rendah mengakibatkan perbedaan konsentrasi di udara dan di spesimen semakin besar sehingga mempercepat keluarnya udara di dalam spesimen.

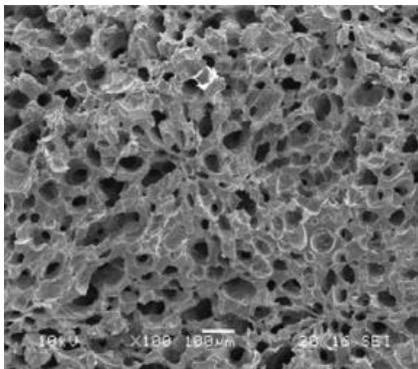
d. Kecepatan volumetrik aliran udara mesin pengering

## 2.6 Proses Pembekuan

Proses pembekuan adalah proses perubahan fase dari fase cairan menuju fase padatan yang terjadi pada titik beku suatu zat. Pada molekul air ( $H_2O$ ) proses ini terjadi pada temperatur  $0^{\circ}C$ . Pembekuan sendiri telah dikenal sebagai salah satu metode dalam pengawetan makanan dimana dengan adanya pembekuan, struktur serta kandungan dalam suatu bahan makanan relatif lebih dapat terjaga.

Dengan adanya proses pembekuan pada spesimen juga dapat menimbulkan celah yang tidak beraturan dan pembengkakan pada spesimen, termasuk deformasi pada spesimen tersebut. Hal ini terjadi karena adanya pembesaran volume akibat timbulnya kristal es pada spesimen tersebut (Wang *et. al*, 2010).

Penambahan pembekuan sebelum proses pengeringan dapat menimbulkan celah pada bagian dalam spesimen seperti yang dapat terlihat pada Gambar 2.7. Lain halnya dengan penambahan proses pembekuan diantara 2 buah proses pengeringan menggunakan *microwave* yang menunjukkan banyaknya celah pada bagian permukaan spesimen yang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Celah yang timbul pada bagian dalam spesimen dengan penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan

Sumber: S. de la Fuente-Blanco *et. al* (2006)



Gambar 2.8 Celah yang timbul pada bagian permukaan spesimen dengan penambahan proses pembekuan di antara pengeringan  
Sumber: Wang *et. al* (2010)

## 2.7 Karakteristik Penguapan Air

### 2.7.1 Kadar Air

Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya air persatuan bobot yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (*wet basis*) atau dalam persen berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah (b.b) adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

$$\text{Kadar air berat basah (\%)} = \frac{\text{berat awal spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}}{\text{berat awal spesimen (g)}} \times 100 \% \quad (2-1)$$

Sumber: Surdia dan Chijiwa (1980)

Pengukuran kadar air dapat dilakukan secara praktis dengan menggunakan alat yang bernama *moisture analyzer* yaitu suatu alat pengukur yang akan menampilkan data kadar air suatu bahan dengan prinsip perhitungan kadar air berat basah.

Kandungan air yang terdapat di dalam suatu spesimen terdiri dari 3 jenis yaitu sebagai berikut.

1. Air bebas (*free water*), air ini merupakan air yang tidak terikat secara fisik maupun kimia di dalam suatu spesimen dan biasanya terdapat di permukaan bahan, sehingga air ini dapat dengan mudah di uapkan.
2. Air terikat secara fisik, air ini merupakan air yang terikat secara fisik pada jaringan matriks bahan seperti membran, kapiler, serat, dan lain-lain. Air jenis ini terdiri atas:
  - a. Air yang terikat pada sistem kapiler suatu spesimen dikarenakan pipa-pipa kapiler pada bahan tersebut.

- b. Air *absorpsi* yaitu air yang terdapat di dalam suatu speimen karena diserap oleh spesimen tersebut.
  - c. Air yang terkurung diantara serat spesimen karena adanya hambatan mekanis pada bahan tersebut.
3. Air terikat secara kimia, yaitu air yang berikatan baik dengan molekul air yang lain maupun dengan molekul lainnya di dalam spesimen tersebut dimana hal ini terjadi karena adanya ikatan hidrogen. Dibutuhkan energi yang cukup besar untuk menghilangkan air jenis ini dari dalam suatu spesimen. Air terikat secara kimia terdiri dari:
- a. Air yang terikat pada molekul-molekul lain pada suatu spesimen dan akan membentuk hidrat dengan molekul lain yang mengandung atom O dan N seperti karbohidrat, protein, atau garam.
  - b. Air yang terikat dengan molekul air yang lain pada suatu spesimen yang biasanya terdapat dalam mikrokapiler.

### 2.7.2 Anomali Air

*Anomali* diartikan sebagai keanehan akibat penyimpangan teori umum termodinamika. Setiap zat akan memuai atau bertambah volumenya apabila dipanaskan, namun hal ini tidak berlaku pada air yang berada temperatur 4 derajat celcius yang baru saja mengalami proses pencairan dari es (temperatur dibawah 0 derajat celcius). Oleh karena massa jenis air adalah massa per satuan volume maka pada temperatur 4 derajat celcius, air mengalami fase volume terkecil dan massa jenis terbesar dalam siklusnya:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2-2)$$

Sumber: Cengel (2004)

Dimana:

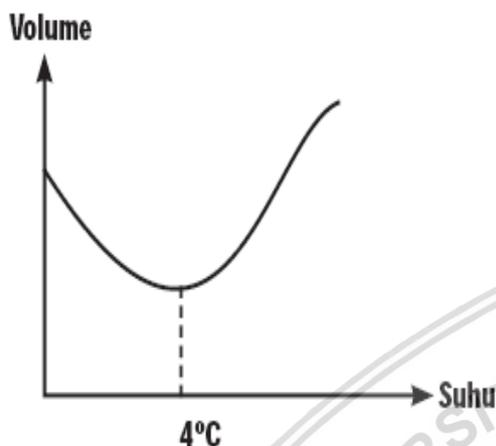
$\rho$  = Massa jenis ( $\text{kg/m}^3$ )

$m$  = Massa (kg)

$V$  = Volume ( $\text{m}^3$ )

Sesuai dengan Gambar 2.7 dimana apabila sejumlah air pada suhu  $0^\circ\text{C}$  dipanaskan, volumenya menurun sampai mencapai suhu  $4^\circ\text{C}$ . Kemudian, ketika suhu telah berada di atas  $4^\circ\text{C}$  air akan kembali berperilaku normal dan volumenya memuai terhadap pertambahan suhu secara teratur. Sifat pemuaian air yang tidak teratur ini disebut *anomali* air dimana air memiliki massa jenis yang paling tinggi pada suhu  $4^\circ\text{C}$ . Perilaku air yang menyimpang ini sangat penting untuk keberadaan air selama musim dingin.

Rosyidah (2005) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa massa jenis fluida dapat menentukan laju perpindahan yang akan menentukan nilai koefisien difusi fluida tersebut. Beberapa eksperimen menunjukkan bahwa fluida yang lebih rapat, berdifusi lebih lambat dari fluida yang kurang rapat. Hal ini menunjukkan bahwa air pada saat kondisi anomali memiliki laju difusi paling lambat karena memiliki massa jenis (densitas) terbesar dalam siklusnya.



Gambar 2.9 Volume air pada suhu 4°C  
Sumber: Ruddi (2015)

### 2.7.3 Laju Pengeringan Air

Laju pengeringan air merupakan suatu perhitungan yang digunakan untuk mengetahui seberapa cepat air dikeringkan dari dalam suatu spesimen tiap satuan waktu. Secara matematis, laju pengeringan air dirumuskan sebagai berikut.

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t} \quad (2-3)$$

Sumber: Hamidi (2008)

Dimana:

$\Delta m$  = Selisih massa spesimen (massa sebelum dikeringkan dengan yang sesudah dikeringkan) (gram)

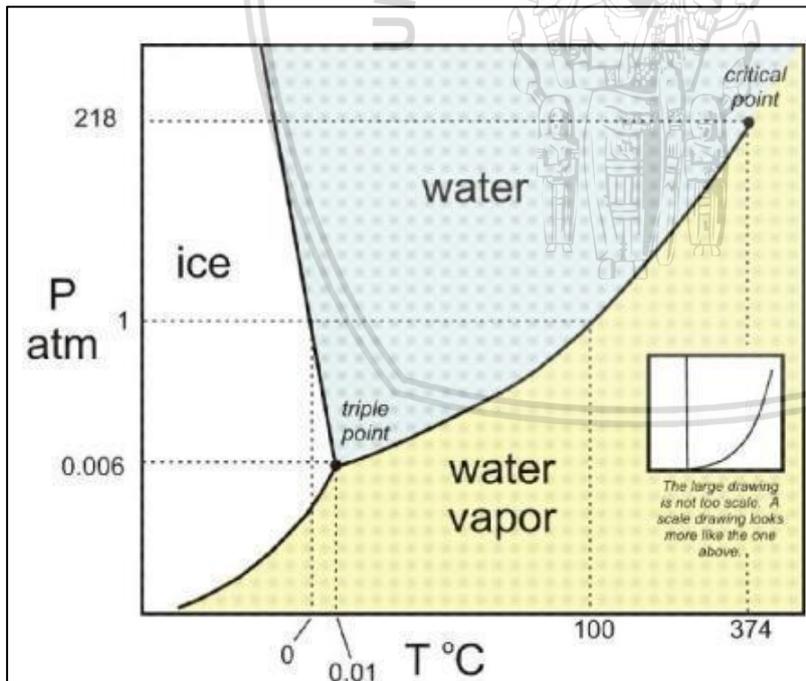
$t$  = Waktu pengeringan (menit)

## 2.8 Komponen Mesin Pendingin

Komponen-komponen pendinginan yang dibutuhkan untuk membentuk sistem pengeringan beku (*freeze drying*) menggunakan sistem pendinginan dengan siklus kompresi uap. Sistem ini menggunakan kompresor untuk menaikkan tekanan uap zat pendinginan dari evaporator kemudian mendorongnya ke dalam kondensor agar mudah diembunkan. Siklus pada mesin ini menggunakan klep yang menghasilkan penurunan tekanan secara *isoenthalpy*.

## 2.9 Pompa Vakum

Dalam sistem pengeringan ini dibutuhkan alat pendukung berupa pompa vakum yang berfungsi untuk menurunkan tekanan ruang pengeringan agar terjadi *evaporasi* dan menghisap air yang menguap dalam ruang pengeringan. Untuk menurunkan titik uap air agar terjadi *sublimasi* maka tekanan dalam ruang pengeringan tersebut perlu diturunkan berdasarkan diagram fase air. Penggunaan kondisi udara vakum (dibawah tekanan 1 atm) bertujuan untuk menurunkan titik didih dari uap air, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu rendah.



Gambar 2.10 Diagram fase H<sub>2</sub>O (air)  
Sumber: Cengel (2006)

Untuk menentukan nilai tekanan yang dibutuhkan untuk mencapai titik *evaporasi*, maka dapat dilihat sesuai dengan Tabel 2.1.

Tabel 2.1  
Tekanan Uap Jenuh Air

Suhu°C	Tekanan Uap Jenuh (mmHg)
0	4.579
1	4.926
2	5.294
3	5.685
4	6.101
5	6.543
6	7.013
7	7.513
8	8.045
9	8.609
10	9.209

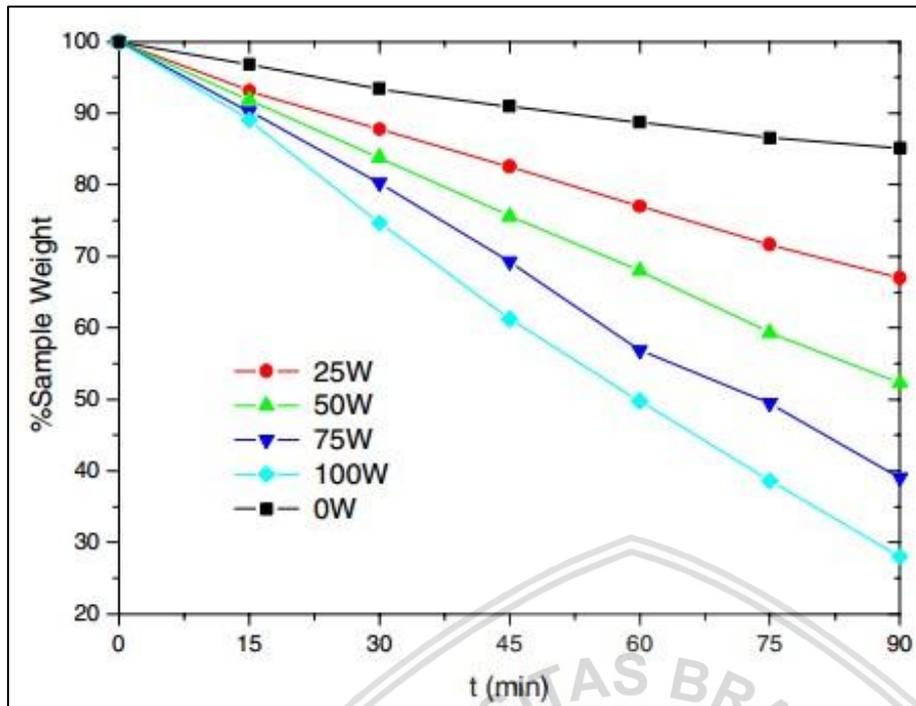
Sumber: Labuza (1982)

## 2.10 Pemakaian Teknologi Gelombang Elektromagnetik dalam Perindustrian

Gelombang mikro (*microwave*) merupakan salah satu jenis gelombang elektromagnetik yang memiliki efek pemanasan jika diserap oleh suatu benda. Efek pemanasan yang dimiliki oleh gelombang mikro lebih merata, hal ini dikarenakan transfer panas yang terjadi tidak dilakukan dari luar tetapi dibangkitkan dari dalam bahan tersebut. Berbagai kelebihan efek pemanasan yang ditimbulkan oleh gelombang mikro membuat gelombang ini dimanfaatkan untuk *food processing*, kesehatan, maupun dalam bidang industri.

Pengaruh gelombang mikro dalam proses pengeringan begitu menjanjikan. Gelombang mikro dengan daya yang diijinkan dapat memicu molekul air keluar dari sel tanpa terjadi perubahan fase air. Efeknya sangat signifikan dan tanpa menyebabkan kerusakan pada makanan yang dikeringkan. Pengeringan menggunakan gelombang mikro merupakan salah satu contoh dari pemanfaatan gelombang mikro pada industri makanan.

Gambar 2.9 menunjukkan penelitian dengan penggunaan *microwave* pada sampel berupa wortel yang berukuran tabung (silinder) dengan diameter sebesar 24 mm dan ketebalan 8 mm. Adapun daya yang digunakan dalam percobaan ini ialah 0 W, 25 W, 50 W, 75 W dan 100 W. Dapat terlihat dari hasil yang diperoleh bahwa penggunaan gelombang mikro dapat menyebabkan molekul air keluar dari dalam sel wortel. Daya yang dapat bekerja secara optimal pada gelombang mikro ialah sebesar 100 W karena terlihat dengan daya tersebut dapat mengurangi berat buah wortel secara signifikan sebesar 72% dalam waktu sebesar 90 menit (S. de la Fuente-Blanco et al).



Gambar 2.11 Pengaruh gelombang mikro dalam proses pengeringan pada wortel  
Sumber: S. De la Fuente-Blanco (2006)

### 2.11 Hipotesis

Laju pengeringan pada *microwave vacuum drying* dapat menjadi lebih cepat dengan adanya gelombang mikro yang dapat mendesak air menuju permukaan spesimen. Selain itu penambahan proses pembekuan pada *microwave vacuum drying* akan menghasilkan kristal es, dimana pada proses pembekuan sebelum pengeringan akan menghasilkan kristal es pada bagian dalam (*intracellular*), sedangkan pada proses pembekuan yang dilakukan diantara proses pengeringan akan menghasilkan kristal es pada bagian permukaan (*extracellular*). Dengan adanya penambahan proses pembekuan akan membentuk celah pada spesimen sebagai jalur keluarnya air yang dapat mempercepat laju proses pengeringan.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan di dalam penelitian ini merupakan metode penelitian nyata (*true experimental research*). Metode penelitian ini dapat digunakan untuk menguji suatu perlakuan dengan membandingkannya dengan perlakuan lainnya.

### 3.2 Tempat Penelitian

Pengambilan data massa dan temperatur dalam penelitian ini dilakukan di Ruang Penelitian S3 Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan pengambilan data kadar air dilakukan di Laboratorium Pengcoran Logam Universitas Brawijaya Malang.

### 3.3 Variabel Penelitian

Di dalam penelitian ini terdapat tiga jenis variabel yang dipergunakan, diantaranya sebagai berikut.

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah suatu variabel yang nilainya ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah:

- a. Pengeringan tanpa proses pembekuan.
- b. Penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan
- c. Penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah suatu variabel yang besar nilainya tidak dapat ditentukan melainkan tergantung pada nilai dari variabel bebasnya. Variabel terikat yang diamati dalam penelitian ini adalah:

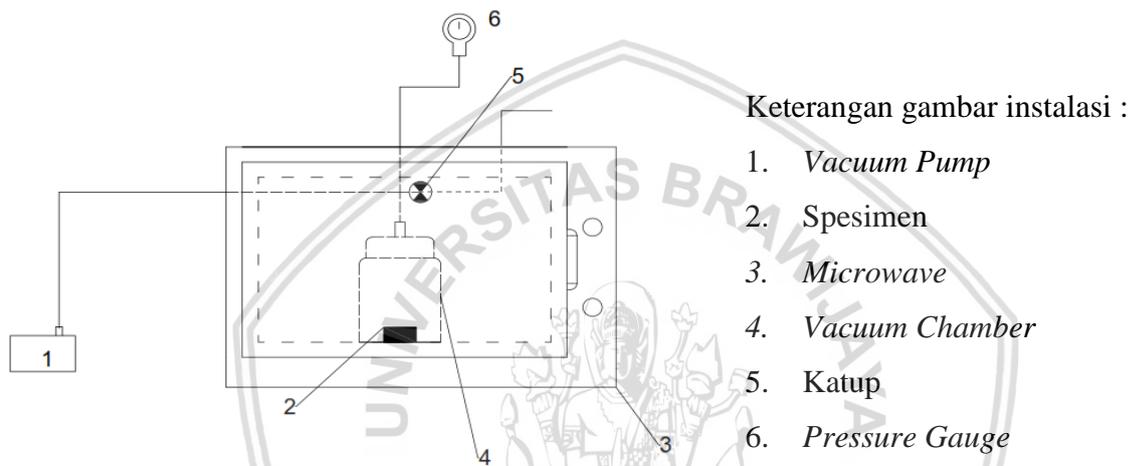
- a. Massa spesimen hasil pengujian
- b. Laju pengeringan
- c. Kadar air spesimen hasil pengujian
- d. Distribusi air akhir spesimen hasil pengeringan.

### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah suatu variabel yang ditentukan oleh peneliti dan nilainya dikondisikan konstan. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah:

- Spesimen yang dikeringkan berupa labu kuning yang dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm dengan toleransi tiap ukuran sebesar 5%.
- Spesimen yang dikeringkan menggunakan *microwave* yang diatur pada daya 40 Watt.

### 3.4 Instalasi Penelitian



Gambar 3.1 Instalasi alat

### 3.5 Alat dan Bahan Penelitian

#### 1. *Vacuum Pump*

Berfungsi untuk menurunkan tekanan dalam *Vacuum Chamber*, dengan spesifikasi sebagai berikut.

Model	: VE115N
Voltage	: 230 V
<i>Free air displacement</i>	: 2.0 CFM
<i>Ultimate vacuum partial pressure</i>	: 2Pa
<i>Ultimate vacuum total pressure</i>	: 150 micron
Power	: 1/4 HP
<i>Inlet port</i>	: 1/4 & amp; amp; quot; Flare
<i>Oil capacity</i>	: 250 ml
<i>Dimensions</i>	: 290X124X224 mm
<i>Net weight</i>	: 6.6 kg.

## 2. *Chiller*

Berfungsi untuk mengondisikan udara dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merek	: Sanyo
Model	: Aqua AQR-D50F
Tegangan	: 220 V
Arus	: 0.57 A
Kapasitas	: 50 liter
Frekuensi	: 50 Hz
Dimensi	: 473 x 483 x 480 mm

## 3. Spesimen

Bahan yang digunakan sebagai spesimen dalam penelitian ini adalah labu kuning (*Cucurbita maxima*). Buah labu banyak mengandung karotenoid (betakaroten, vitamin A, vitamin C, serat, mineral, lemak dan karbohidrat. Labu kuning (*Cucurbita moschata*) tersebut dipotong dengan ukuran 2 x 2 x 2 cm dengan toleransi sebesar 5% dari masing-masing ukuran.

## 4. *Microwave*

Alat yang digunakan untuk menghasilkan gelombang mikro dengan spesifikasi sebagai berikut.

Nama	: <i>Microwave Oven Sharp R-222-Y</i>
Tegangan	: 220 – 240 Volt
Daya Minimal	: 40 Watt
Daya Maksimal	: 399 Watt
Temperatur Maksimal	: 250°C
Dimensi	: 319 x 211 x 336 mm

## 5. Thermostat

Mengubah temperature pada *chiller* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Kapasitas	: -20°C sampai 25°C
Ketelitian	: 5°C

## 6. *Vacuum Chamber*

Tempat spesimen di beri tekanan oleh pompa vakum dengan spesifikasi sebagai berikut

Bahan	: kaca
Diameter	: 11 cm
Tinggi	: 11.5 cm



Gambar 3.2 Vacuum chamber

7. Katup

Mengatur tekanan pada *vacuum pump* dengan cara mengurangi luas permukaan dengan spesifikasi sebagai berikut.

Bahan : Kuningan

Jenis : *Ball Valve*

8. *Pressure Gauge*

Mengukur tekanan pada *chamber* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Merek : WIKA

Tipe : EN 837-1 SC250

Kapasitas : 0 sampai -1 bar / 0 sampai -15 psi

Ketelitian : 0.02 bar

9. *Moisture analyzer*

Mengukur *persentase* air dalam spesimen.

Merek : Saitorius

Tegangan : 100-120/220-290 VAC

Model : MA30

Frekuensi : 50 – 60 Hz

Arus : 3,3 A/1,6 A



Gambar 3.3 Moisture analyzer

10. Selang *Manifold*

Menyambungkan pompa vakum dengan vakum tank, vakum tank dengan *chamber* dan *chamber* dengan *pressure gauge*.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat 3 variasi yang digunakan untuk memperlihatkan hasil pengeringan yang berbeda. Setiap variasi memiliki prosedur yang berbeda tetapi menghasilkan proses akhir berupa analisa yang sama, yaitu laju pengeringan dan pengurangan massa spesimen sampai konstan. Hasil akhir dari setiap metode pengeringan akan di analisa kadar air, laju pengeringan dan bentuk dari hasil pengeringan masing-masing.

#### 3.6.1 *Microwave Vacuum Drying Tanpa Proses Pembekuan*

1. Labu kuning dipotong dengan ukuran  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm} \pm 5\%$  yang ditimbang massanya di timbangan elektrik.
2. Kemudian labu kuning dihitung kadar airnya menggunakan *moisture analyzer*.
3. Selanjutnya labu kuning dimasukkan ke dalam *chamber*.
4. Setelah itu *chamber* dimasukkan ke dalam *microwave* yang telah diatur dayanya sebesar 40 Watt lalu di *vacuum* dengan tekanan maksimal *vacuum pump* dengan waktu pengujian diatur selama 3 menit.
5. Selanjutnya setiap 3 menit labu kuning diukur kembali massa dan suhunya.
6. Pengambilan data massa labu kuning selesai dilakukan sampai kadar air dari spesimen telah mendekati konstan (penurunan massa dibawah 0.01 g).
7. Setelah itu labu kuning dibagi menjadi 3 bagian (ujung 1, tengah, dan ujung 2) untuk dihitung kadar airnya.

#### 3.6.2 *Microwave Vacuum Drying dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan*

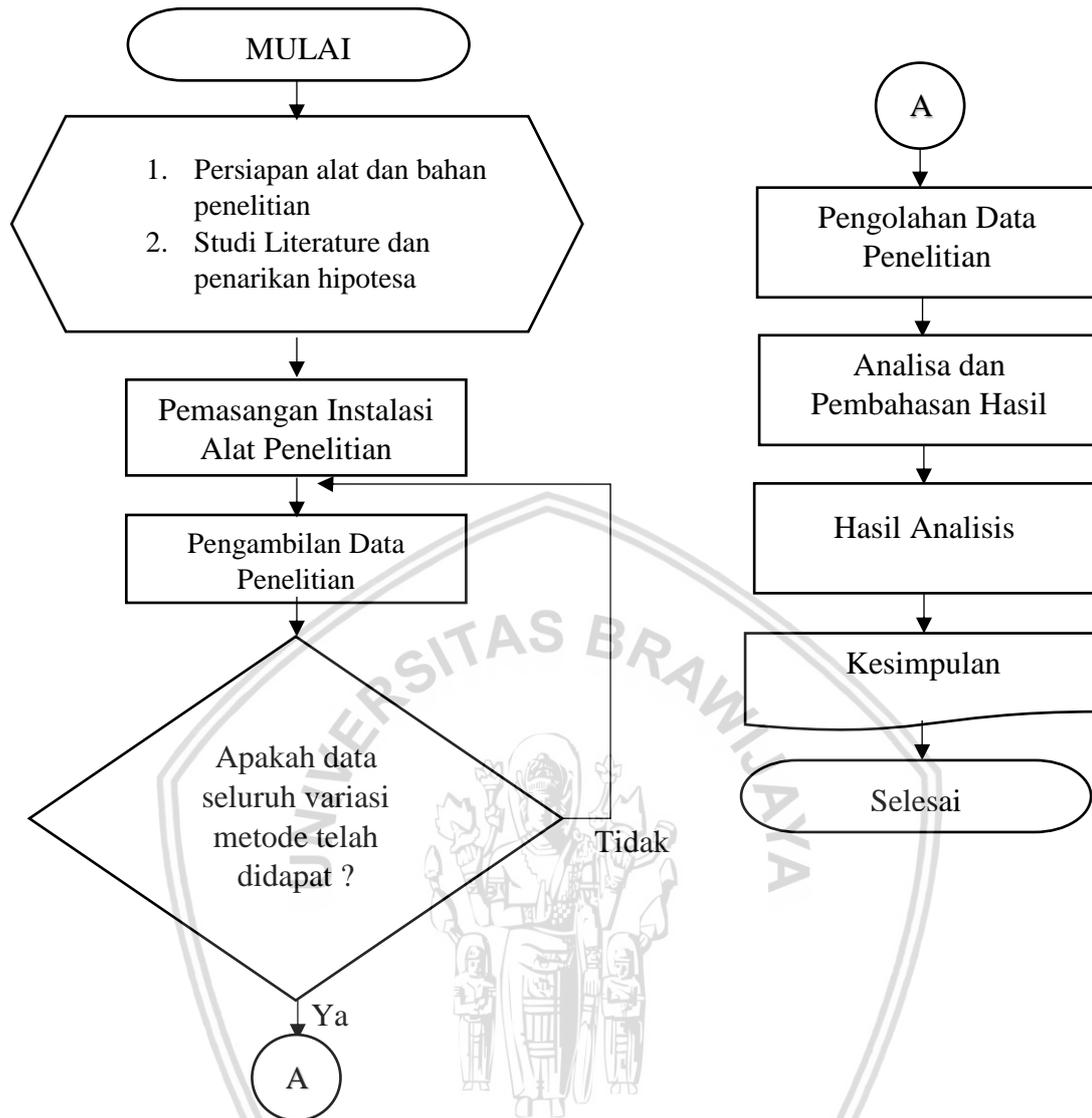
1. Labu kuning dipotong dengan ukuran  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm} \pm 5\%$  yang ditimbang massanya di timbangan elektrik.
2. Kemudian labu kuning dihitung kadar airnya menggunakan *moisture analyzer*.
3. Setelah itu labu kuning dimasukan ke dalam *freezer* sampai mencapai kondisi beku (*freeze*).
4. Selanjutnya labu kuning dimasukkan ke dalam *chamber*.
5. Setelah itu *chamber* dimasukkan ke dalam *microwave* yang telah diatur dayanya sebesar 40 Watt lalu di *vacuum* dengan tekanan maksimal *vacuum pump* dengan waktu pengujian diatur selama 3 menit.
6. Selanjutnya setiap 3 menit labu kuning diukur kembali massa dan suhunya.

7. Pengambilan data massa labu kuning selesai dilakukan sampai kadar air dari spesimen telah mendekati konstan (penurunan massa dibawah 0.01 g).
8. Setelah itu labu kuning dibagi menjadi 3 bagian (ujung 1, tengah, dan ujung 2) untuk dihitung kadar airnya.

### 3.6.3 *Microwave Vacuum Drying* dengan Penambahan Proses Pembekuan Diantara Proses Pengeringan

1. Labu kuning dipotong dengan ukuran  $2 \times 2 \times 2 \text{ cm} \pm 5\%$  yang ditimbang massanya di timbangan elektrik.
2. Kemudian labu kuning dihitung kadar airnya menggunakan *moisture analyzer*.
3. Selanjutnya labu kuning dimasukkan ke dalam *chamber*
4. Setelah itu *chamber* dimasukkan ke dalam *microwave* yang telah diatur dayanya sebesar 40 Watt lalu di *vacuum* dengan tekanan maksimal *vacuum pump* dengan waktu pengujian diatur selama 3 menit.
5. Setelah 3 menit, labu kuning dimasukan ke dalam *freezer* sampai mencapai kondisi beku (*freeze*) dan kemudian dikembalikan ke dalam *microwave* untuk kembali melalui proses pengeringan.
6. Selanjutnya setiap 3 menit labu kuning diukur kembali massa dan suhunya
7. Pengambilan data massa labu kuning selesai dilakukan sampai kadar air dari spesimen telah mendekati konstan (penurunan massa dibawah 0.01 g).
8. Setelah itu labu kuning dibagi menjadi 3 bagian (ujung 1, tengah, dan ujung 2) untuk dihitung kadar airnya.

### 3.7 Diagram Alir penelitian



Gambar 3.4 Diagram alir penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Pengolahan Data dan Analisis

#### 4.1.1 Data Hasil Penelitian

Pada penelitian ini terdapat tiga variabel bebas yang digunakan dengan perlakuan yang berbeda yaitu, pengeringan tanpa proses pembekuan, penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan, dan penambahan proses pembekuan di antara proses pengeringan. Setiap sampel yang dikeringkan dicek massanya setiap tiga menit sekali sampai penurunan massa telah mendekati konstan (penurunan massa di bawah 0,01 gram).

Sebelum melakukan pengambilan data, spesimen berupa labu kuning dihitung kadar airnya dengan menggunakan *moisture analyzer* dan diperoleh kadar air sebesar 90,23 % yang dihitung dengan menggunakan rumus kadar air berat basah menggunakan persamaan (2-1). Data hasil pengeringan berupa massa dan suhu di masukan kedalam *microsoft office excel* dan kemudian diolah sehingga mendapatkan grafik yang diinginkan.

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan untuk mencari nilai yang diperlukan dalam penelitian. Dalam pengolahan data disini memakai perhitungan kadar air berat kering (2-1) dan laju pengeringan (2-3). Contoh perhitungan dapat dilihat seperti berikut.

1. Kadar air (*Wet base moisture content*)

$$\text{Kadar air} = \frac{\text{berat spesimen (g)} - \text{berat kering (g)}}{\text{berat spesimen (g)}} \times 100 \%$$

$$\text{Kadar air} = \frac{7,484 \text{ g} - 0,731 \text{ g}}{7,484 \text{ g}} \times 100\%$$

$$\text{Kadar air} = 90,23 \%$$

2. Laju Pengeringan (*drying rate*)

$$\bar{V} = \frac{\Delta m}{t}$$

$$\bar{V} = \frac{7,484 - 6,752}{3}$$

$$\bar{V} = 0,244 \text{ g/menit}$$

## 4.2 Data Hasil Perhitungan

Pengambilan data massa spesimen yang diambil setiap 3 menit sekali sampai mendekati konstan di masukan ke dalam *microsoft office excel* untuk kemudian diolah sehingga menghasilkan data seperti berikut.

Tabel 4.1

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan Tanpa Proses Pembekuan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	7.484	0.000	0.000	90.23	26.5	27.1
3	6.752	0.732	0.244	89.18	29	28.8
6	6.094	0.658	0.219	88.01	28.5	29.5
9	5.884	0.210	0.070	87.58	29	28.8
12	4.766	1.118	0.373	84.67	29.5	29
15	3.216	1.550	0.517	77.28	28.5	28.3
18	2.770	0.446	0.149	73.62	28.5	28.5
21	2.438	0.332	0.111	70.02	29	28.7
24	2.208	0.230	0.077	66.90	30	29.2
27	1.870	0.338	0.113	60.92	29	28.6
30	1.414	0.456	0.152	48.32	29.5	30
33	1.236	0.178	0.059	40.87	29.5	29.4
36	1.062	0.174	0.058	31.18	30.5	30.2
39	0.976	0.086	0.029	25.12	30	30.4
42	0.908	0.068	0.023	19.51	30.5	29.3
45	0.858	0.050	0.017	14.82	30	29.1
48	0.832	0.026	0.009	12.16	29.5	29.4
51	0.808	0.024	0.008	9.55	30	29.6
53	0.794	0.014	0.005	7.96	30.5	29.7

Tabel 4.2

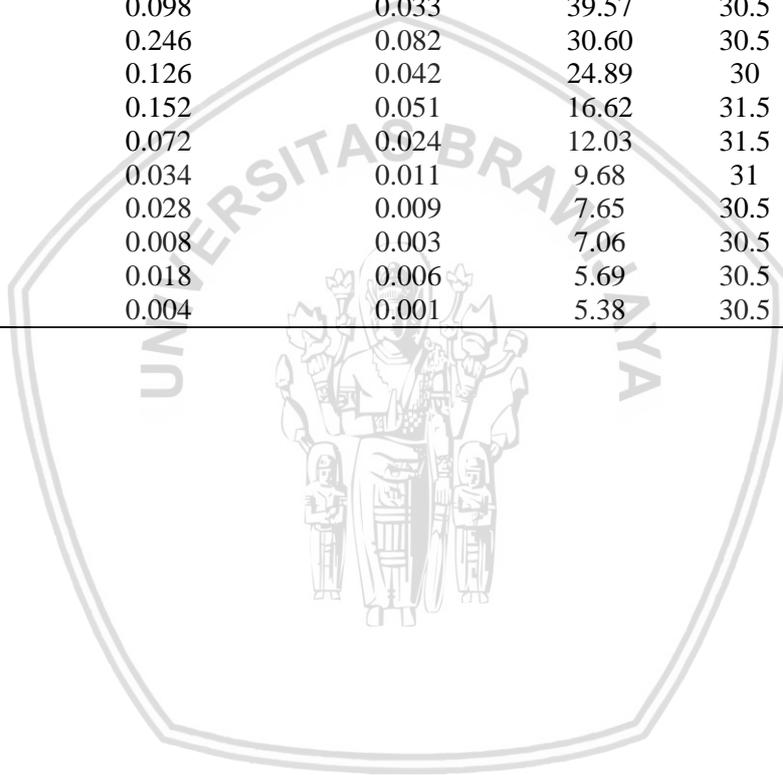
Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	8.774	0.000	0.000	87.07	28.5	30.2
3	8.644	0.130	0.043	86.87	29	28.7
6	8.426	0.218	0.073	86.53	28.5	30
9	6.830	1.596	0.532	83.38	28	29.8
12	5.344	1.486	0.495	78.76	29	30.1
15	4.552	0.792	0.264	75.07	29	31.4
18	4.436	0.116	0.039	74.42	29	30
21	3.316	1.120	0.373	65.78	28.5	29.7
24	2.872	0.444	0.148	60.49	28.5	30.5
27	2.516	0.356	0.119	54.89	29.5	30
30	2.084	0.432	0.144	45.54	29	30.9
33	1.714	0.370	0.123	33.79	29	29.8
36	1.546	0.168	0.056	26.59	29.5	30.7
39	1.430	0.116	0.039	20.64	29	30.8
42	1.352	0.078	0.026	16.06	29	30.1
45	1.288	0.064	0.021	11.89	30.5	30
48	1.264	0.024	0.008	10.22	30	31.6
51	1.240	0.024	0.008	8.48	30	30.3
54	1.218	0.022	0.007	6.83	30	30.2
57	1.204	0.014	0.005	5.74	30	29.8

Tabel 4.3

Data Massa, Penurunan Massa, Laju Pengeringan, Kadar Air, dan Temperatur Pengeringan dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Massa (gram)	Penurunan Massa (gram)	Laju Pengeringan (gram/menit)	Kadar Air (%)	Temperatur	
					Luar (Celcius)	Dalam (Celcius)
0	8.022	0.000	0.000	85.66	28.5	30.5
3	7.630	0.392	0.131	84.92	30.5	29
6	6.480	1.150	0.383	82.24	29.5	29.4
9	5.330	1.150	0.383	78.41	29.5	29.6
12	3.914	1.416	0.472	70.60	29.5	30.4
15	3.090	0.824	0.275	62.76	30	30.1
18	2.908	0.182	0.061	60.43	29.5	30.4
21	2.296	0.612	0.204	49.89	30.5	30.8
24	2.002	0.294	0.098	42.53	30	30.4
27	1.904	0.098	0.033	39.57	30.5	31
30	1.658	0.246	0.082	30.60	30.5	31.9
33	1.532	0.126	0.042	24.89	30	30.2
36	1.380	0.152	0.051	16.62	31.5	31.5
39	1.308	0.072	0.024	12.03	31.5	31.2
42	1.274	0.034	0.011	9.68	31	31.5
45	1.246	0.028	0.009	7.65	30.5	30.3
48	1.238	0.008	0.003	7.06	30.5	30.2
51	1.220	0.018	0.006	5.69	30.5	30
54	1.216	0.004	0.001	5.38	30.5	31



Tabel 4.4  
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu Tanpa Proses Pembekuan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	90.23	90.23	90.23
9	82.73	83.94	75.29
18	60.00	47.9	42.34
27	48.78	36.93	39.58
Akhir	9.04	8.04	6.79

Tabel 4.5  
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan Sebelum Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	87.07	87.07	87.07
9	83.09	82.67	80.56
18	58.60	61.23	57.69
27	42.08	40.86	39.30
Akhir	9.14	1.84	6.25

Tabel 4.6  
Data Distribusi Kadar Air Tiap Waktu dengan Penambahan Proses Pembekuan di Antara Proses Pengeringan

Waktu (Menit)	Distribusi Kadar Air (%)		
	1	2	3
0	85.66	85.66	85.66
9	83.27	80.57	81.72
18	64.93	51.21	57.89
27	43.06	38.3	42.38
Akhir	3.70	8.95	3.48

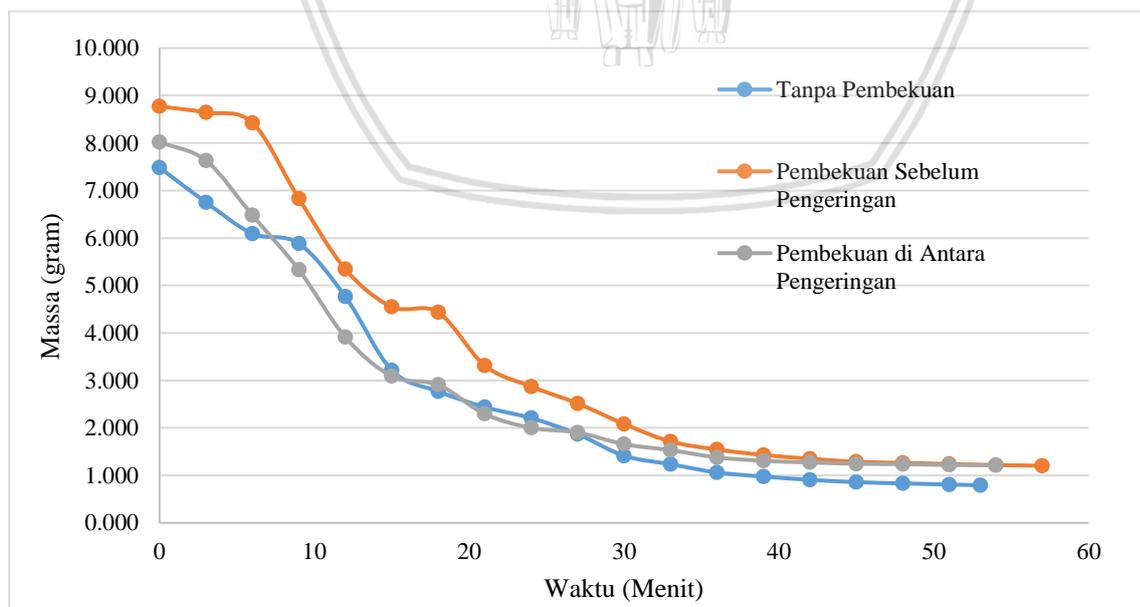
### 4.3 Grafik dan Pembahasan

#### 4.3.1 Analisis Hubungan Massa tiap Variasi terhadap Waktu

Gambar 4.1 menunjukkan penurunan massa spesimen tiap menit. Berkurangnya massa pada spesimen berbanding lurus dengan berkurangnya kadar air pada spesimen, dimana sesuai dengan persamaan (2-1) yang menyatakan bahwa berkurangnya massa spesimen menandakan hilangnya kadar air yang berada di dalam spesimen.

Grafik memperlihatkan bahwa waktu yang dibutuhkan paling sedikit oleh massa spesimen untuk mencapai titik konstan terjadi pada variasi tanpa penambahan proses pembekuan. Pada menit 0 sampai menit ke 9 terlihat bahwa pada pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan mengalami penurunan yang lebih cepat dibandingkan dengan adanya penambahan proses pembekuan baik sebelum maupun diantara proses pengeringan, sedangkan pada menit-menit akhir, penurunan massa spesimen cenderung konstan pada setiap variasi dimana hal ini disebabkan karena semakin sedikitnya jumlah air yang dikeluarkan dari dalam spesimen.

Penurunan massa yang lambat di menit-menit awal pada variasi penambahan proses pembekuan baik sebelum maupun diantara proses pengeringan disebabkan karena panas yang dihasilkan oleh gelombang mikro terlebih dahulu digunakan untuk mencairkan kristal es yang terkandung pada spesimen, sehingga waktu yang dibutuhkan oleh massa spesimen untuk mencapai titik konstan cenderung lebih panjang dibandingkan dengan pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan.

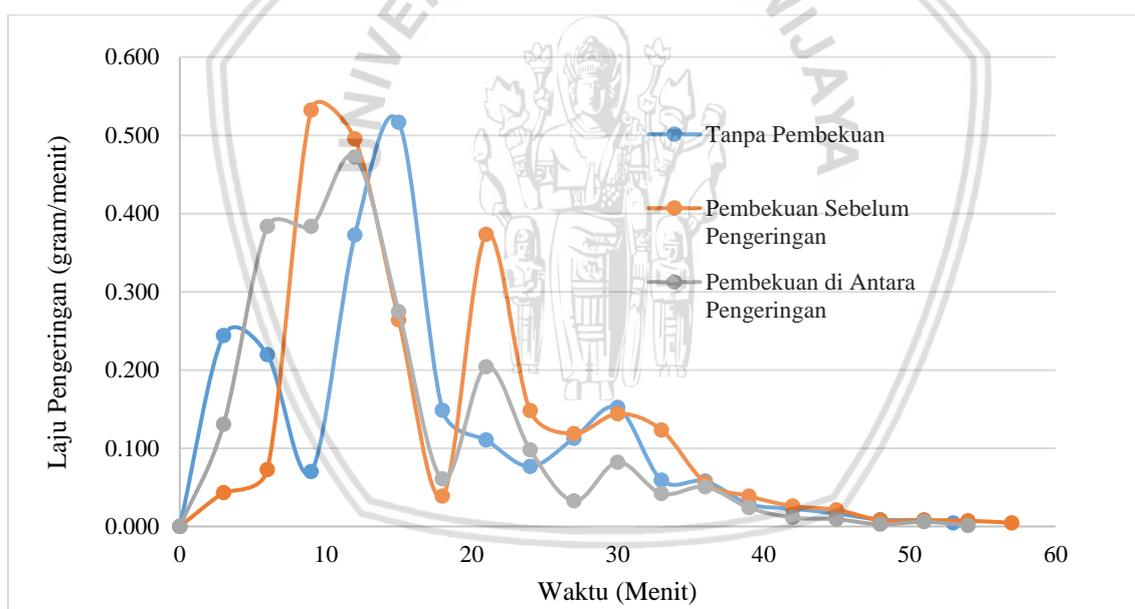


Gambar 4.1 Hubungan massa tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

### 4.3.2 Analisis Hubungan Laju Pengeringan tiap Variasi terhadap Waktu

Sesuai dengan persamaan (2-3), laju pengeringan didefinisikan sebagai banyaknya massa yang diuapkan tiap satuan waktu. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa laju pengeringan pada menit-menit akhir cenderung konstan sedangkan bernilai tinggi di awal proses pengeringan. Hal ini dikarenakan semakin berkurangnya massa mengakibatkan perbedaan konsentrasi yang ada pada lingkungan dan spesimen semakin kecil sehingga menyebabkan laju pengeringan semakin rendah.

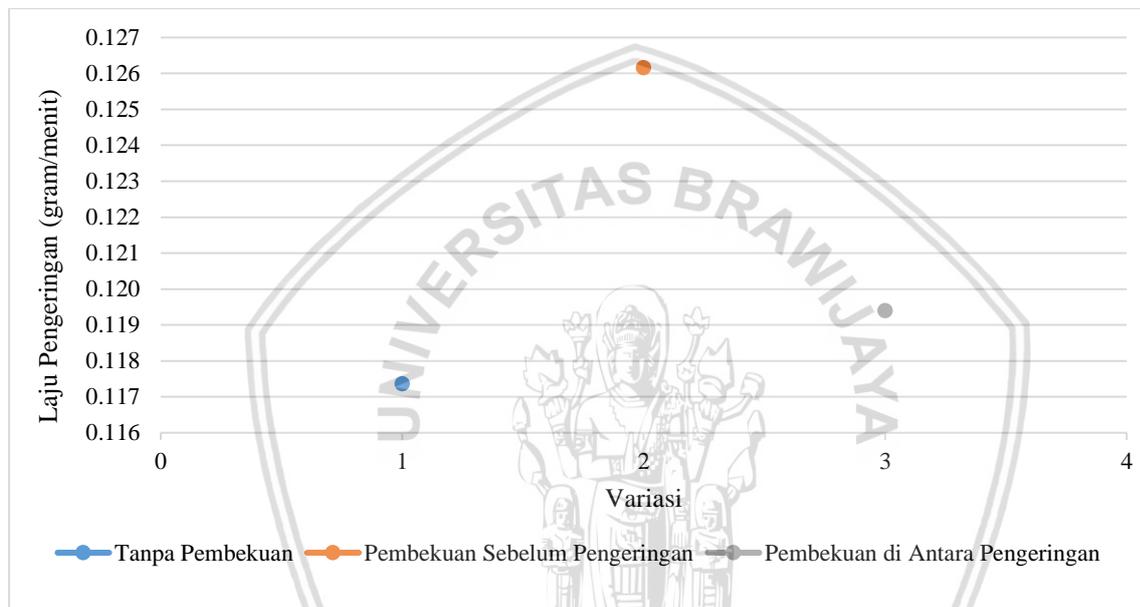
Bila dilihat pada grafik, laju pengeringan cenderung tidak selalu menurun secara konstan. Hal ini dikarenakan terjadi peristiwa anomali air akibat adanya proses pencairan pada spesimen dari kondisi beku, dimana sesuai dengan Gambar 2.9 dan persamaan (2-2) bahwa molekul air memiliki volume terkecil dan massa jenis (densitas) terbesar dalam siklusnya. Akibat kenaikan densitas menyebabkan terjadinya penurunan laju difusi yang akan mengakibatkan air sulit untuk berdifusi ke permukaan spesimen untuk diuapkan sehingga dapat menurunkan laju pengeringan.



Gambar 4.2 Hubungan laju pengeringan tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

Terlihat dalam Gambar 4.3 bahwa rata-rata laju pengeringan tertinggi terjadi pada variasi penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan terendah terjadi pada variasi pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan. Hal ini dikarenakan adanya celah kecil yang timbul pada spesimen yang mengalami proses pembekuan baik sebelum maupun di antara proses pengeringan seperti yang terlihat pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8 sehingga dapat mempercepat laju pengeringan.

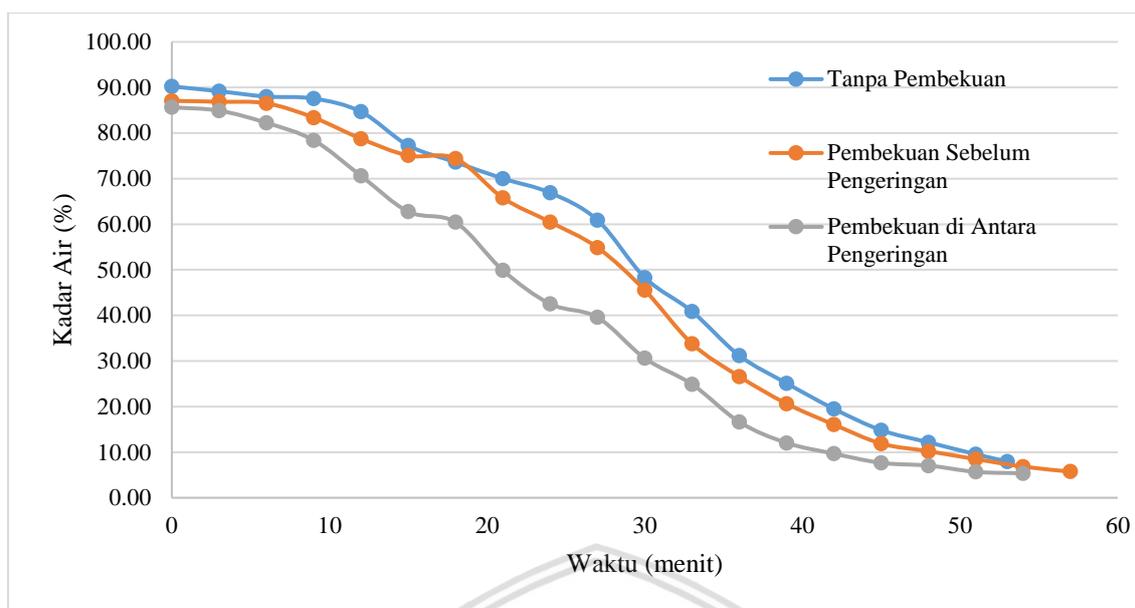
Dapat dilihat pula bahwa proses pembekuan sebelum pengeringan memiliki laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pembekuan diantara pengeringan. Hal ini terjadi akibat proses pembekuan sebelum proses pengeringan menyebabkan timbulnya celah pada bagian dalam spesimen seperti terlihat pada Gambar 2.7, sehingga dapat mempercepat air menuju permukaan spesimen untuk diuapkan. Lain halnya dengan spesimen dengan proses pembekuan di antara proses pengeringan dimana celah timbul pada bagian permukaan spesimen seperti terlihat pada Gambar 2.8, sehingga sebagian air yang masih berada pada bagian dalam spesimen perlu mencari jalan terlebih dahulu menuju permukaan spesimen untuk diuapkan.



Gambar 4.3 Rata-rata laju pengeringan pada beda variasi (1) tanpa pembekuan, (2) pembekuan sebelum pengeringan, dan (3) pembekuan di antara pengeringan

#### 4.3.3 Analisis Hubungan Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

Persamaan (2-1) menunjukkan bahwa berkurangnya massa pada suatu spesimen berbanding lurus dengan penurunan kadar air pada spesimen tersebut. Dapat dilihat melalui Gambar 4.4, dimana penurunan kadar air pada menit-menit awal pengujian cenderung terjadi secara besar namun akan menjadi lebih sedikit di menit-menit akhir. Hal ini dapat terjadi karena seiring dengan bertambahnya waktu pengujian maka banyaknya air yang akan diuapkan akan semakin berkurang sehingga penurunan kadar air akan semakin sedikit di menit-menit akhir pengujian. Gambar 4.4 menunjukkan bahwa penurunan kadar air tertinggi terjadi pada spesimen yang mengalami proses pembekuan diantara proses pengeringan dibandingkan dengan kedua pengujian lainnya.

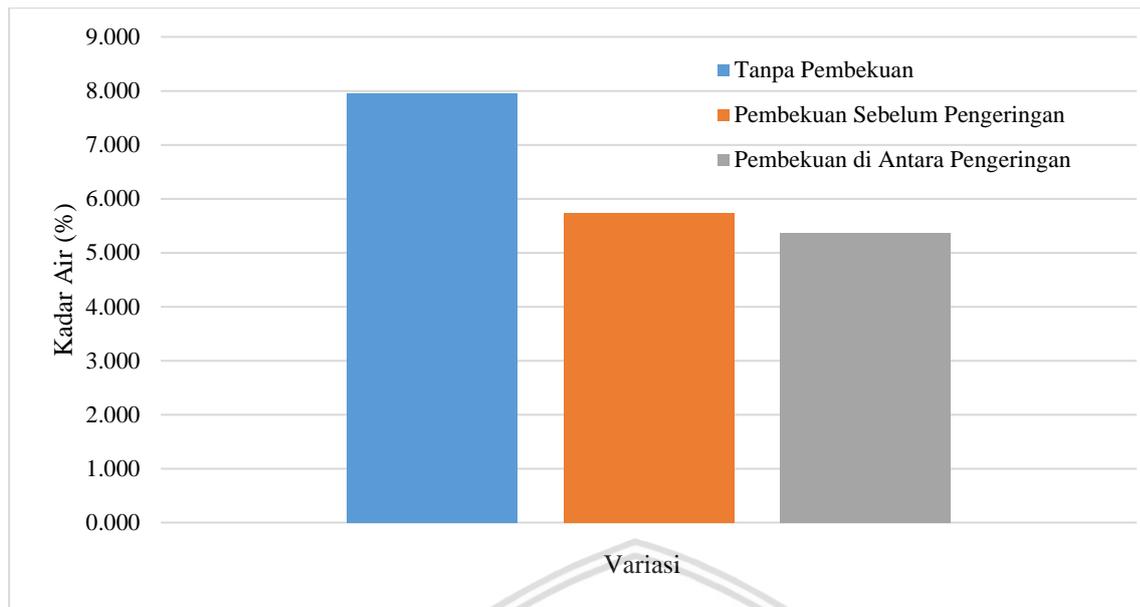


Gambar 4.4 Hubungan kadar air tiap variasi terhadap waktu pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

Dengan nilai kadar air awal yang diperoleh melalui *moisture analyzer* maka akan didapat massa air awal serta massa kering spesimen tersebut. Setiap 3 menit massa spesimen tersebut akan diukur sehingga diperoleh nilai kadar air spesimen dengan cara mengurangi massa spesimen sesaat setelah dikeringkan dengan massa kering spesimen tersebut.

Pada Gambar 4.5 dapat terlihat bila rata-rata kadar air akhir spesimen terendah berada pada variasi proses pengeringan dengan penambahan pembekuan diantara proses pengeringan, sedangkan rata-rata kadar air akhir tertinggi terdapat pada pengeringan tanpa penambahan proses pembekuan. Hal ini disebabkan karena dengan adanya proses pembekuan diantara proses pengeringan akan menimbulkan celah pada bagian permukaan spesimen (*extracelullar*) seperti yang terlihat pada Gambar 2.8, sehingga kandungan air yang terdapat pada spesimen dapat dengan lebih mudah terdifusi menuju lingkungan.

Gambar 4.5 juga menunjukkan bahwa penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan memiliki kadar air akhir yang lebih banyak dibandingkan dengan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya penggunaan *microwave* sebelum pembekuan pada pengujian penambahan proses pembekuan diantara pengeringan menyebabkan sebagian molekul air telah berada pada bagian permukaan spesimen akibat terdesak oleh gelombang mikro sebelum terkristalisasi akibat adanya proses pembekuan tersebut, lain halnya dengan penambahan proses pembekuan sebelum pengeringan seperti terlihat pada Gambar 2.7 yang menyebabkan celah lebih banyak terjadi pada bagian dalam spesimen.



Gambar 4.5 Rata-rata kadar air akhir pada beda variasi tanpa pembekuan, pembekuan sebelum pengeringan, dan pembekuan di antara pengeringan

#### 4.3.4 Analisis Hubungan Distribusi Kadar Air tiap Variasi terhadap Waktu

Gambar 4.6 a, 4.6 b, dan 4.6 c memperlihatkan distribusi kadar air setiap menitnya, dimana nomor 2 menunjukkan bagian tengah spesimen sedangkan nomor 1 dan 3 menunjukkan bagian permukaan spesimen.

Dapat dilihat bahwa distribusi kadar air pada setiap spesimen cenderung tidak merata. Hal ini dikarenakan karena kurangnya intensitas dari gelombang mikro yang hanya memiliki daya sebesar 40 Watt sehingga tidak mampu menembus ke bagian dalam spesimen yang menyebabkan distribusi kadar air menjadi tidak merata.

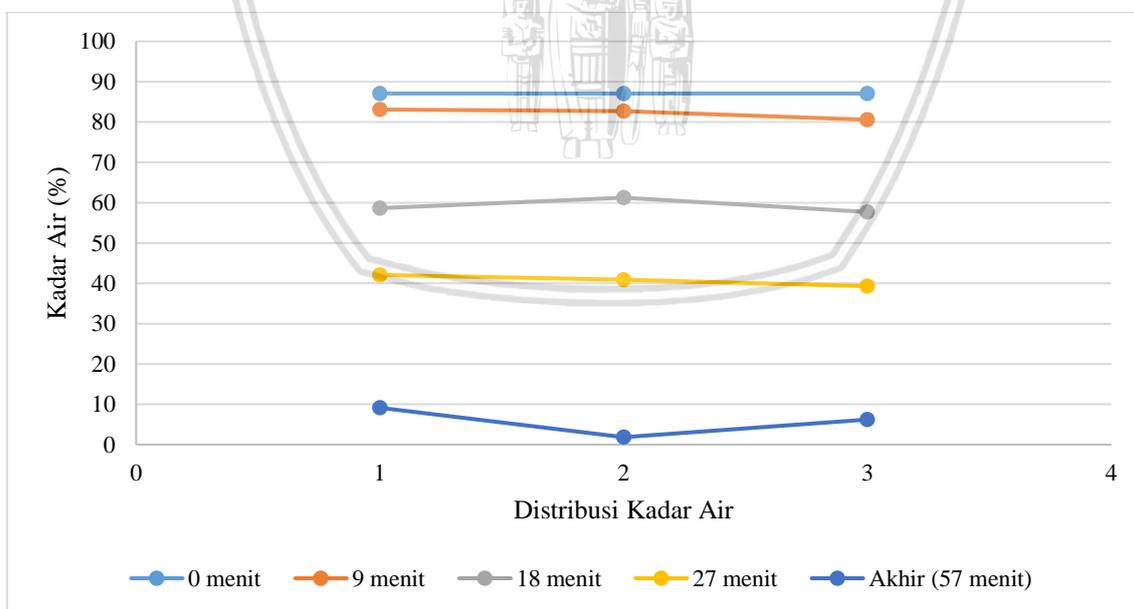
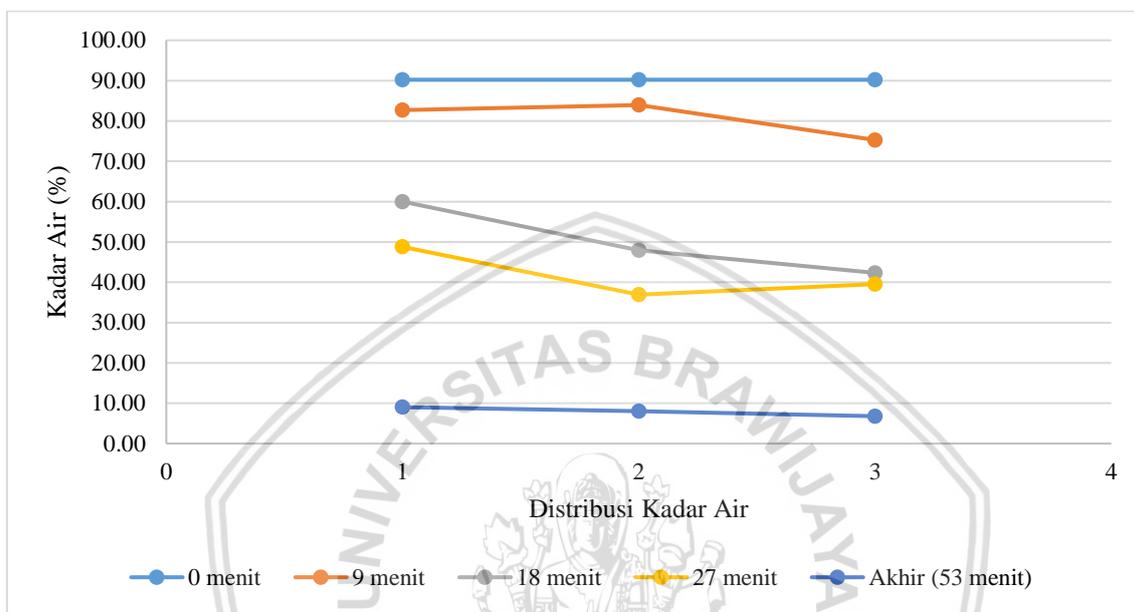
Setiap variasi rata-rata menunjukkan hasil kadar air yang lebih sedikit pada bagian tengah. Hal ini dapat terjadi karena getaran yang dimiliki oleh gelombang mikro memiliki sifat mampu menembus spesimen yang menyebabkan terdorongnya molekul air menuju permukaan spesimen.

Pada spesimen yang mendapatkan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan menunjukkan hasil kadar air yang lebih tinggi pada bagian tengah. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya celah pada permukaan spesimen (*extracelullar*) seperti pada Gambar 2.8, akan mengakibatkan air yang berada pada permukaan akan lebih dulu menguap sehingga air yang terdapat di dalam spesimen akan terperangkap.

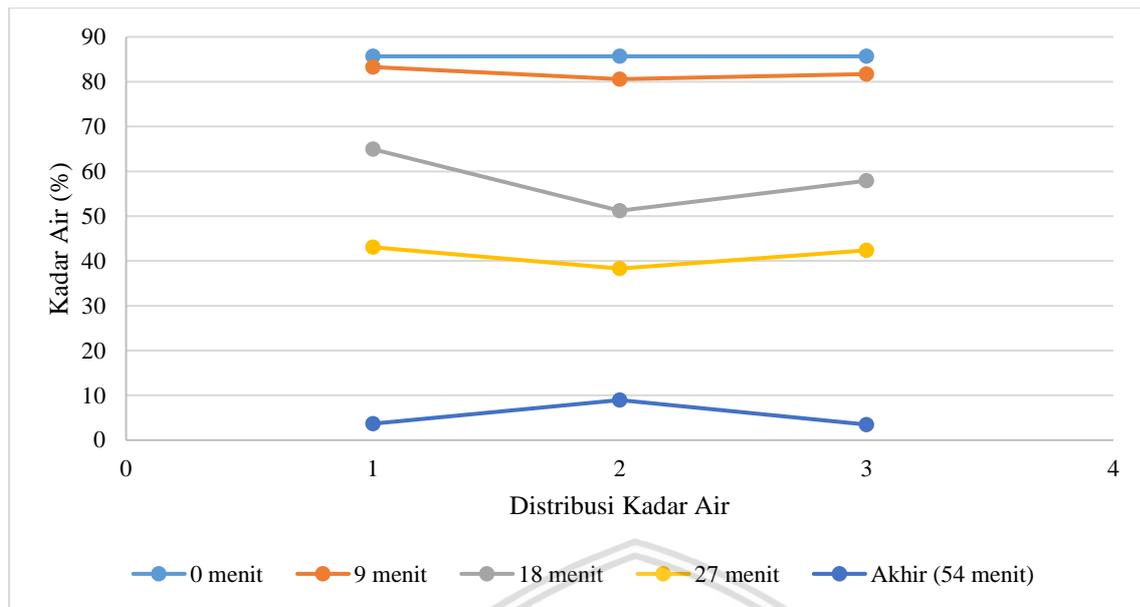
Berbeda halnya dengan spesimen yang mendapatkan penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan menunjukkan kadar air yang lebih tinggi pada bagian permukaan spesimen. Hal ini disebabkan karena dengan adanya celah pada bagian dalam spesimen seperti pada Gambar 2.7, akan mempercepat air pada bagian dalam untuk menuju permukaan

spesimen ketika proses pengeringan sedang berlangsung sehingga banyak air yang akan bertumpuk pada bagian permukaan.

Sedangkan pada spesimen yang tidak mengalami proses pembekuan cenderung memiliki jumlah kadar air akhir yang cenderung merata pada tiap titik pengujian. Hal ini terjadi karena tanpa adanya celah yang timbul menyebabkan proses keluarnya air pada tiap bagian spesimen cenderung terjadi secara merata.



b



c

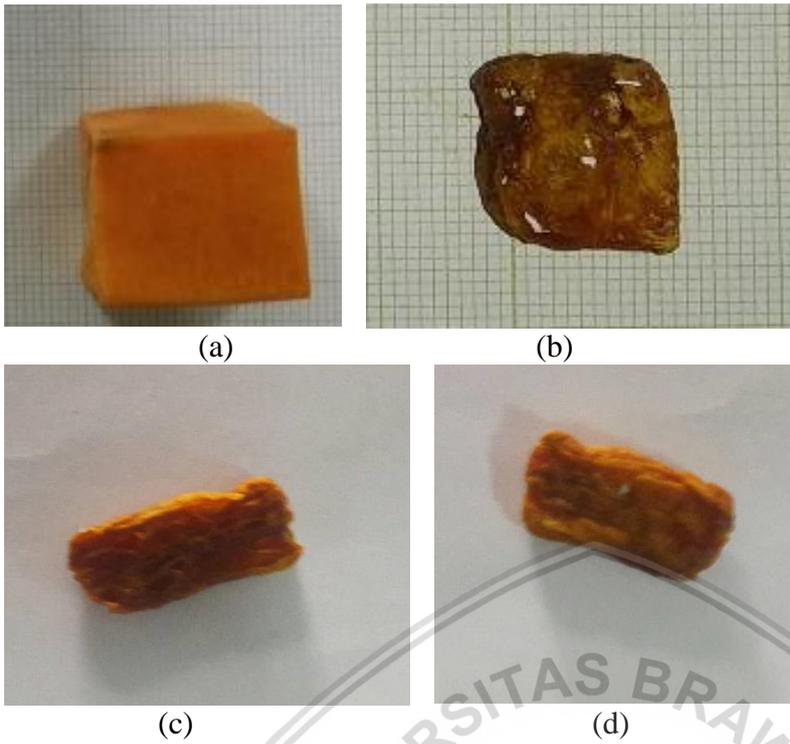
Gambar 4.6 Distribusi kadar air pada tiap titik pengujian dengan variasi (a) tanpa pembekuan, (b) penambahan pembekuan sebelum pengeringan, dan (c) penambahan pembekuan di antara pengeringan

#### 4.3.5 Perbandingan Ukuran dan Warna Spesimen Hasil Pengeringan tiap Variasi

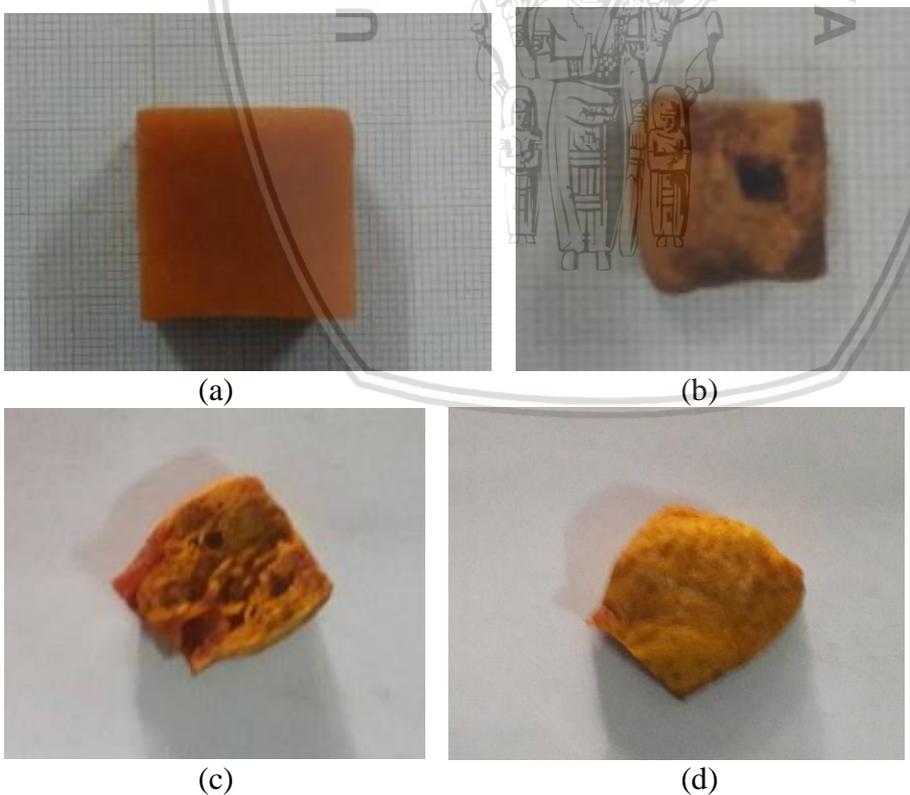
Gambar 4.7, 4.8, dan 4.9 memperlihatkan penyusutan serta perubahan warna yang terjadi pada spesimen sebelum dan setelah dikeringkan. Gambar a memperlihatkan spesiimen sebelum dikeringkan, sedangkan gambar b menunjukkan hasil spesimen setelah dikeringkan. Melalui gambar c dapat terlihat bagian dalam spesimen setelah dikeringkan dan gambar d yang menunjukkan bagian luar spesimen hasil pengeringan.

Gambar di bawah menunjukkan bahwa penyusutan volume terbesar terjadi pada spesimen yang tidak mengalami penambahan proses pembekuan. Hal ini dapat terjadi karena spesimen mendapatkan pancaran langsung dari gelombang mikro sehingga mengakibatkan spesimen akan lebih cepat rusak. Melalui perubahan warna yang terjadi, penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan kedua perlakuan lainnya. Hal ini dapat terjadi karena dengan adanya kristal es yang menyelimuti spesimen akibat adanya penambahan proses pembekuan yang dapat melindungi permukaan spesimen dari pancaran langsung gelombang mikro.

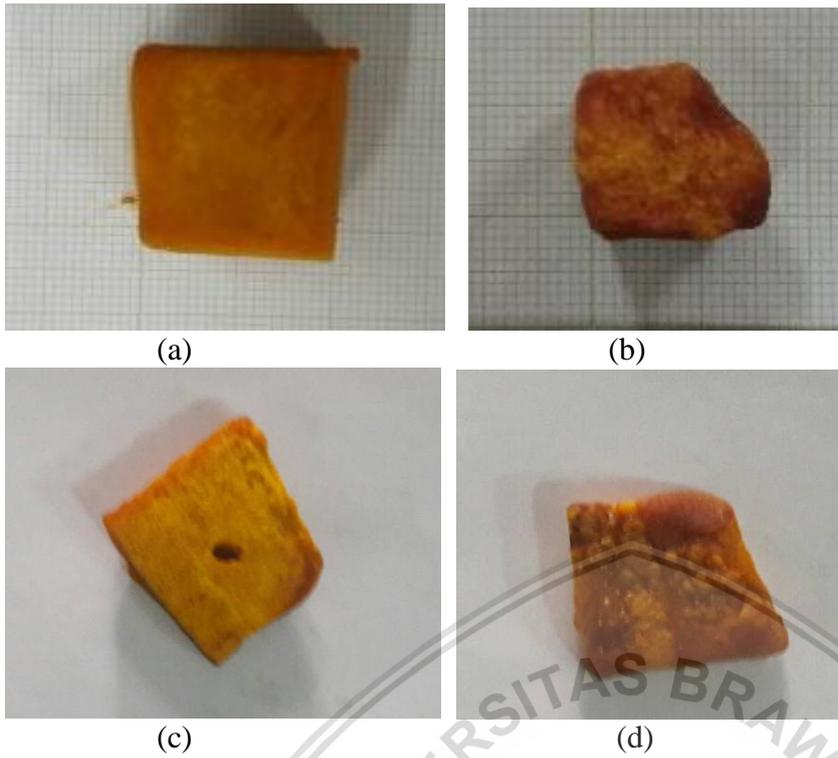
Melalui hasil yang diperoleh, dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil terbaik diperoleh pada proses pengeringan dengan penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan dimana hasilnya menunjukkan warna yang jauh lebih dapat terjaga, penyusutan yang tidak terlalu besar, serta bagian dalam spesimen yang tidak terlalu memiliki banyak lubang dibanding dengan perlakuan lainnya.



Gambar 4.7 Ukuran dan warna spesimen pada variasi tanpa pembekuan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.8 Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan sebelum pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan



Gambar 4.9 Ukuran dan warna spesimen pada variasi pembekuan di antara pengeringan, (a) ukuran awal spesimen sebelum pengeringan, (b) ukuran akhir spesimen hasil pengeringan, (c) tampak dalam spesimen hasil pengeringan, (d) tampak luar spesimen hasil pengeringan

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

1. Penambahan proses pembekuan menyebabkan penurunan massa spesimen yang sedikit dimenit-menit awal karena panas yang dihasilkan oleh gelombang mikro digunakan terlebih dahulu untuk mencairkan kristal es yang terdapat pada spesimen.
2. Dengan adanya penambahan proses pembekuan sebelum proses pengeringan dan di antara proses pengeringan dapat menyebabkan laju pengeringan semakin cepat dengan adanya celah yang timbul pada spesimen.
3. Dengan adanya penambahan proses pembekuan maka potensi penurunan kadar air akan semakin meningkat dikarenakan adanya celah pada spesimen sehingga air dapat dengan terdifusi menuju lingkungan.
4. Penambahan proses pembekuan diantara proses pengeringan akan menyebabkan air terjebak di bagian dalam sehingga memiliki kadar air yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian permukaan.
5. Penambahan proses pembekuan dapat menjaga spesimen dari penyusutan serta perubahan warna akibat adanya kristal es yang menyelimuti spesimen sehingga dapat melindungi permukaan spesimen dari pancaran langsung gelombang mikro

### 5.2 Saran

1. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya menggunakan pancaran gelombang mikro yang dapat merata di semua sisi spesimen agar hasil pengeringan menjadi lebih maksimal.
2. Diharapkan untuk selanjutnya menggunakan daya yang lebih tinggi dari 40 watt sehingga intensitas gelombang mikro dapat menjadi lebih merata pada setiap sisi baik dalam maupun permukaan.
3. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya untuk menggunakan *seal* yang lebih baik untuk menghindari terjadinya kebocoran pada *vacuum chamber*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Apriadi, Hanim Z. Amanah, Nursigit. 2011. *Heat And Mass Transfer Analysis Of Corn Cobs Drying Process Using Some Simple Drying Methods*. Bintoro1 Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian UGM Jl. Flora No 2 Bulaksumur. Yogyakarta
- Bai-Ngew, Switttra et al. 2010. *Characterization of microwave vacuum-dried durian chips*. Bangkok : *Department of Product Development, Faculty of Agro-Industry Kasetsart University*
- Cengel, Yunus. A. 2004. *Fluid Mechanics*. McGraw- Hill, Inc
- Cengel, Yunus. A. 2006. *Thermodynamic An Engineering Approach*. McGraw- Hill, Inc
- Food Review Indonesia 2013 *TEKNOLOGI Freeze Drying Technology: for Better Quality & Flavor of Dried Products*.
- Geankoplis, Christie J. 1993. *Transport Processes And Unit Operations*. Third edition : *University of Minnesota*
- Hamidi, N. 2008. *Freeze Drying : a Novel Method for Biological Material Preservation*. Jepang : *Kyushu Institute of Technology Kitakyushu*
- Hayasi, Tadahisa. et all. 2006. *Heat and Mass Transfer in Warm-air Drying of Seafood*, Fukuoka Industrial Technology Center, 3-6-1 Norimatsu, Fukuoka. Japan
- Sudathip et all. 2008. *Microwave and hot-air drying of Thai red curry paste* , 1(Special Issue), 38-49 , *Mj. Int. J. Sci. Tech*.
- Labuza TP. 1982. *Shelf Life Dating of Foods*. Westport Connecticut: Food and Nutrition Press Inc
- Moran, M.J. & Howard N.S. 2004 *Termodinamika Teknik Jilid 1*. The Ohio State University.
- Reyes , Alejandro et all. 2015. *Freeze-Drying of Soymilk*. *Universidad de Santiago de Chile*, Departamento de Ingenieria Quimica, Santiago, Chile
- Rosyidah, TAJ'. 2005. *Pengaruh Suhu Terhadap Koefisien Difusi pada Suatu Zat Cair*. Universitas Jember
- Ruddi. 2015. *Peristiwa Anomali Air*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- S. de la Fuente-Blanco, et al. 2006. *Food drying process by power ultrasound*. *Instituto de Acustica, CSIC, Serrano 144, 28006 Madrid, Spanyol*
- Surdia, Tata dan Chijiwa, Kenji. 1980. *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta : PT. Pradnya Paramitha
- Tanaka M. 2007. *Microwave Heating of Water, Ice, and Saline Solution: Molecular Dynamics Study*, Jepang
- Wang, Rui et al. 2010. *Effects of Vacuum and Microwave Freeze Drying on Microstructure and Quality of Potato Slices*, China

Wirakartakusuma A., et al. 1992. *Peralatan dan Unit Proses Industri Pangan*. Pusat antar Universitas IPB, Bogor.

