



UNIVERSITAS INDONESIA
PENGARUH WADAH MATERIAL TERHADAP LAJU
PENGERINGAN PADA ALAT PENGERING BEKU VAKUM
UNTUK ALOEVERA

SKRIPSI

JULIAN ARLISDIANTO
0906604880

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH WADAH MATERIAL TERHADAP LAJU
PENGERINGAN PADA ALAT PENGERING BEKU VAKUM
UNTUK ALOEVERA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

JULIAN ARLISDIANTO

0906604880

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir dengan judul :

ANALISA PENGARUH WADAH MATERIAL TERHADAP LAJU PENGERINGAN PADA ALAT PENGERING BEKU VAKUM UNTUK ALOEVERA

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari tugas akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya. Penulisan tugas akhir ini dibuat bersama **Juniver Hotma Parulian** dengan judul tugas akhir "**Analisa Sistem Termodinamik dan Pengaruh Variasi Temperatur Evaporator Terhadap Proses Pengeringan**" sehingga tidak terdapat kata-kata atau kalimat yang sama pada judul skripsi.

Nama : Julian Arlisdianto

NPM : 0906604880

Tanda Tangan : 

Tanggal : 16 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Julian Arlisdianto
NPM : 0906604880
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Wadah Material Terhadap Laju
Pengeringan Pada Pengereng Beku Vakum
Untuk Aloe vera

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen teknik Mesin Fakultas teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dr.Ir. M. Idrus Alhamid (.....)

Pembimbing II : Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng (.....)

Penguji : Dr. Ir. Budiharjo, Dipl. -Ing (.....)

Penguji : M. Taufik, Dipl. -Ing (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 16 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan karunia-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan do'a dan dukungannya kepada penulis untuk tetap semangat menggapai cita-cita yang mulia.
2. Dr.Ir M. Idrus Alhamid dan Dr.-Ing.Ir. Nasruddin, M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Dr. Ir. Budiharjo, Dipl. –Ing dan M. Taufik, Dipl. –Ing, selaku dewan penguji.
4. Muhamad Yulianto ST. MT yang telah memberikan bimbingan selama penyusunan skripsi ini.
5. Juniver Hotma Parulian sebagai teman satu tim yang solid yang selalu bersemangat, kreatif dan aktif dalam mengerjakan skripsi ini.
6. Dwi Apriyani, atas segala kepercayaan dan dukungannya yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman – teman Lab Pendingin dan PPSE 2009 Dimas Pradipta, Iswanto Purnomo, Charles Hutabrat, Deni, Fitriah, Arnas, Bapak Ali, Lucky, Ricky, Hamdany, Bapak Darwin, Bapak Seno yang banyak memberikan saran, bantuan, motivasi.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Julian Arlisdianto
NPM : 0906604880
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**PENGARUH WADAH MATERIAL TERHADAP LAJU
PENGERINGAN PADA ALAT PENERING BEKU VAKUM UNTUK
ALOEVERA**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Januari 2012

Yang menyatakan



(Julian Arlisdianto)

ABSTRAK

Nama : Julian Arlisdianto
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Wadah Material Terhadap Laju Pengeringan Pada
Pengering Beku Vakum Untuk Aloe vera

Pengeringan beku vakum merupakan metode pengeringan yang terbaik, tetapi sangat boros dalam hal energi. Hal ini disebabkan karena laju pengeringan yang relatif lama. Skripsi ini membahas mengenai efek pemanfaatan panas buang kondenser pada proses sublimasi material uji sebagai usaha untuk mempercepat laju pengeringan material. Selain itu, skripsi ini juga membahas mengenai efek material wadah material (*material tray*) dengan konduktivitas termal berbeda dan membahas besarnya massa yang ter evaporasi pada pengeringan beku vakum. Hasil penelitian membuktikan bahwa pemanfaatan pemanasan dari panas buang kondenser dapat mempercepat laju pengeringan. Selain itu wadah material (*material tray*) yang berbeda menyebabkan perbedaan waktu pengeringan dan selalu terdapat massa yang ter evaporasi dalam setiap kondisi pengujian

Kata kunci :

Pengeringan beku vakum, Panas buang kondensor, Wadah material.

ABSTRACT

Name : Julian Arlisdianto
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Effect of Material Tray Against the Drying Rate on Vacuum
Freeze Drying for Aloe vera

Vacuum freeze drying is the best drying method but very intensive of energy. This is because the relatively long drying rate. This undergraduate thesis investigates the effect of waste heat recovery from condenser on the sublimation process of the test material in an effort to accelerate the rate of drying on material. In an addition, this undergraduate thesis is also discusses the effect of the material tray with different thermal conductivity and discusses the magnitude mass of the evaporation on vacuum freeze drying. The result proved that the utilization of waste heat from the condenser heat can accelerate the rate of drying. Beside that the material tray has an effect of differences in drying time and that is always there an evaporation mass in each test condition

Key word:

Vacuum Freeze Drying, Waste Heat Recovery from Condenser, Material Tray.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penulisan	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
2. DASAR TEORI	
2.1 Proses Pengeringan	4
2.2 Pengeringan Beku Vakum	5
2.2.1 Pembekuan Vakum (<i>Vacuum Freezing</i>)	7
2.2.2 Pengeringan	7
2.3 Komponen-komponen Utama Pengering Beku Vakum	9
2.4 Perpindahan Kalor dan Massa	10
2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi	11

2.5 Heat Transfer Coefficient (Kv).....	13
2.6 Massa Material yang Terevaporasi	14
2.7 Siklus Refrijerasi.....	14
2.7.1 Sistem Refrijerasi Siklus Tunggal	15
2.7.2 Refrijeran	16

3. METODOLOGI PENGUJIAN

3.1 Diagram Alir Pengujian	18
3.2 Parameter Pengujian	19
3.2.1 Tekanan.....	20
3.2.2 Temperatur.....	20
3.2.3 Wadah Material (<i>material tray</i>)	20
3.3 Deskripsi Alat.....	20
3.3.1 Komponen yang digunakan	21
3.3.2 Alat Ukur	24
3.4 Metodologi Pengujian.....	28
3.4.1 Lokasi Pengujian	28
3.4.2 Skematik Alat	29
3.5 Benda Uji.....	30
3.6 Persiapan Sebelum Pengujian.....	30
3.7 Pengujian.....	31
3.8 Hasil Pengujian.....	31

BAB 4 ANALISA DAN DATA

4.1 Proses Pengeringan	32
4.1.1 Profil Temperatur dan Perubahan Fasa Pada Wadah Material Plastik	32
4.1.2 Profil Temperatur dan Fasa Pada Wadah Material <i>Stainless Steel</i>	36
4.1.3 Profil Temperatur dan Perubahan Fasa Pada Wadah Material Teflon	40
4.2 Pengolahan Data dan Analisa	44

4.2.1 Massa Material yang Terevaporasi	44
4.2.2.1 Massa Material Yang Terevaporasi Pada Wadah Plastik	44
4.2.2.2 Massa Material Yang Terevaporasi Pada <i>Stainless Steel</i>	48
4.2.2.3 Massa Material Yang Terevaporasi Pada Teflon.....	51
4.2.2 Laju Pengeringan	54
4.2.3 <i>Heat Transfer Cooficient</i> (Kv).....	58
4.2.4 Karakterisitik Struktur Mikro Aloe vera Pada Setiap Wadah Material	58

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran.....	60

DAFTAR PUSTAKA	61
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Grafik umum pada proses pengeringan.....	5
Gambar 2.2 Diagram fase dari air	6
Gambar 2.3 Skematik Proses Pengeringan Beku Vakum	6
Gambar 2.4 Tekanan Saturasi Air	7
Gambar 2.5 Proses Pengeringan Awal.....	8
Gambar 2.6 <i>Freeze Vacuum Drying</i>	9
Gambar 2.7 Mekanisme Perpindahan Kalor	11
Gambar 2.8 Perpindahan Kalor dan Massa dengan Kondisi Batas Konduksi.	12
Gambar 2.9 Siklus Refrijerasi Tunggal.....	15
Gambar 3.1 Diagram alir pengujian 1.....	18
Gambar 3.2 Diagram alir pengujian 2.....	19
Gambar 3.3 Vacuum Pump.....	21
Gambar 3.4 Ruang Vakum.....	22
Gambar 3.5 Wadah material	22
Gambar 3.6 <i>Condensing unit</i>	23
Gambar 3.7 <i>Needle valve</i>	24
Gambar 3.8 Termokopel tipe-K.....	24
Gambar 3.9 Timbangan <i>Digital</i>	25
Gambar 3.10 <i>Pressure Transmitter</i>	25
Gambar 3.11 Orifis.....	26
Gambar 3.12 <i>DAQ</i>	27
Gambar 3.13 Tampilan Lab-View	27
Gambar 3.14 Skematik alat <i>Freeze Vacuum Drying</i>	28
Gambar 3.15 Aloevera	29
Gambar 4.1 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material plastik tanpa pemanas	32
Gambar 4.2 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material plastik.....	33

Gambar 4.3 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 27°C pada wadah material plastik	33
Gambar 4.4 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 27°C pada wadah material plastik	34
Gambar 4.5. perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 32°C pada wadah material plastik	34
Gambar 4.6 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 32°C pada wadah material plastik	35
Gambar 4.7 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material <i>stainless steel</i> tanpa pemanas.....	41
Gambar 4.8 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material <i>stainless steel</i>	41
Gambar 4.9 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material <i>stainless steel</i> dengan pemanas 27°C.....	42
Gambar 4.10. perubahan fasa kondisi temperature pemanas 27°C pada wadah material <i>stainless steel</i>	43
Gambar 4.11 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material <i>stainless steel</i> dengan pemanas 32°C.....	44
Gambar 4.12 perubahan fasa kondisi temperature pemanas 32°C pada wadah material <i>stainless steel</i>	44
Gambar 4.13 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon tanpa pemanas.....	45
Gambar 4.14 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material teflon.....	46
Gambar 4.15 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon dengan pemanas 37°C.....	47
Gambar 4.16 perubahan fasa kondisi temperature pemanas 27°C pada wadah material teflon	47
Gambar 4.17 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon dengan pemanas 27°C.....	48

Gambar 4.18 perubahan fasa kondisi temperature pemanas 27°C pada wadah material teflon	49
Gambar 4.19 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar.....	50
Gambar 4.20 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar	50
Gambar 4.21 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik dengan pemanas 32°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar	51
Gambar 4.22 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material <i>stainless steel</i> tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar	51
Gambar 4.23 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material <i>stainless steel</i> dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar	52
Gambar 4.24 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material <i>stainless steel</i> dengan pemanas 32°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar	53
Gambar 4.25 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar.....	54
Gambar 4.26 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar.....	54
Gambar 4.27 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon dengan pemanas 32°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar.....	55
Gambar 4.28 laju pengeringan tanpa pemanas	55
Gambar 4.29 laju pengeringan dengan pemanas 27°C.....	56
Gambar 4.30 laju pengeringan dengan pemanas 32°C.....	57
Gambar 4.31 grafik perbandingan Kv pada setiap wadah material dan tekanan vakum pada temperatur pemanas yang berbeda	58
Gambar 4.32 Struktur mikro material menggunakan <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM) pada setiap wadah material (a) teflon, (b) plastik, (c) <i>stainless steel</i>	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisis beberapa jenis refrijeran.....	17
Tabel 3.1 Variasi data pengujian.....	20
Tabel 3.1 Posisi termokopel dan <i>Pressure Gauge</i> pada sistim refrijerasi.....	29
Tabel 4.2 jumlah massa material yang terevaporasi tanpa pemanas pada wadah material plastik	44
Tabel 4.2 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 27°C pada wadah material plastik	44
Tabel 4.3 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 32°C pada wadah material plastik	46
Tabel 4.4 jumlah massa material yang terevaporasi tanpa pemanas pada wadah material <i>stainless steel</i>	47
Tabel 4.5 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 27°C pada wadah material <i>stainless steel</i>	48
Tabel 4.6 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 32°C pada wadah material <i>stainless steel</i>	49
Tabel 4.7 jumlah massa material yang terevaporasi tanpa pemanas pada wadah material teflon	50
Tabel 4.8 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 27°C pada wadah material teflon	51
Tabel 4.9 jumlah massa material yang terevaporasi dengan temperatur pemanas 32°C pada wadah material teflon	52
Tabel 4.10 jumlah massa yang terevaporasi pada setiap wadah material dan pemanas	52
Tabel 4.11 massa akhir material	55
Tabel 4.12 total waktu sublimasi pada setiap wadah material dan pemanas	55

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia memiliki keunggulan di bidang pertanian dan kelautan yang memberikan hasil melimpah. Salah satunya Aloe vera yang banyak terdapat di Indonesia. Aloe vera ini termasuk tumbuhan yang memiliki banyak kelebihan di bidang kesehatan yang digunakan sebagai bahan dasar obat-obatan dan farmasi. Aloe vera banyak mengandung vitamin E yang baik untuk kulit. Dalam pengolahan untuk dijadikan bahan dasar farmasi dan obat-obatan, aloe vera harus dibuat menjadi ekstrak. Proses ekstraksi pada dasarnya adalah pemindahan massa dengan cara menguapkan air dari material kelengkapan yang biasa disebut pengeringan. Proses pengeringan dengan cara pemanasan dinilai kurang tepat untuk produk yang digunakan sebagai bahan farmasi dan pembuatan obat-obatan karena zat-zat yang terkandung di dalam produk dapat ikut teruapkan dan menjadi rusak.

Para ahli telah menemukan beberapa teknik pengeringan selain dengan cara menjemur bahan di bawah sinar matahari secara langsung. Salah satu teknik pengeringan tersebut adalah pengering beku dengan proses pemvakuman, yaitu dengan menggunakan ruangan yang memiliki tekanan udara yang lebih rendah. Kenyataan bahwa di daratan tinggi yang tekanannya lebih rendah dibandingkan tekanan udara di daratan rendah, air lebih mudah menguap. Berdasarkan fenomena ini kita dapat menyatakan bahwa proses pengeringan juga akan lebih mudah terjadi pada tekanan rendah.

Pengering beku diakui sebagai metode pengeringan terbaik tetapi sangat intensif energi (Liapis and Bruttini, 1995; Martinez et al., 2001; Horadczek dan Viernstein, 2004) karena disebabkan dua hal yaitu proses pembekuan pada tekanan yang berbeda dengan pengeringan dan perambatan panas yang lambat selama sublimasi. Untuk mengatasi hal ini maka digunakan pemanas yang berasal dari panas buang kondenser dan penggunaan wadah material (*material tray*) dengan konduktivitas termal yang tepat untuk tetap menjaga kualitas material.

1.2 Perumusan Masalah

Perlu adanya pembuktian dan analisa tentang fenomena yang terjadi pada proses pengeringan dengan pemvakuman beku (*freeze vacuum drying*) meliputi perpindahan panas, laju pengeringan, pengaruh penambahan pemanas dan variasi wadah material (*tray*) terhadap laju pengeringan terhadap struktur mikro dari produk yang dikeringkan.

1.3 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Mempelajari karakteristik pada proses pengeringan beku aloevera dengan variasi wadah material (*tray*) dan temperatur pemanas panas buang kondenser, baik dari segi laju pengeringan dan struktur mikro aloevera

1.4 Batasan Masalah

Pembatasan masalah yang akan dibahas pada mesin pengering beku vakum dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membahas proses pengujian pengeringan beku dengan variasi temperatur pemanas, posisi pemanas dan penggunaan wadah material (*material tray*) yang berbeda;
2. Membandingkan pengujian pengeringan Aloevera dengan pengeringan beku vakum dari setiap variasi pengujian yang dilakukan, baik dari sisi laju pengeringan dan karakteristik material setelah pengeringan; dan
3. Membahas karakteristik pengeringan beku vakum dari sisi perpindahan kalor konduksi.

1.5 Metode Penulisan

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa metode antara lain :

1. Melakukan studi literatur untuk memperoleh dasar-dasar teori mengenai pengeringan, konduksi, dan pemvakuman.

2. Melakukan wawancara dengan ahli bidang pengeringan.
3. Melakukan serangkaian pengujian untuk mendapatkan data yang diperlukan dalam pembuktian dan analisa.
4. Mengolah dan menganalisa data yang diperoleh sesuai dengan tujuan penulisan.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar, sistematika penulisan skripsi ini terbagi dalam 5 bab dengan pendahuluan pada bab 1; landasan teori pada bab 2; metodologi pengujian pada bab 3; pengolahan data dan analisis pada bab 4; serta kesimpulan pada bab 5.

Bab 1 merupakan pendahuluan dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini, dijelaskan mengenai latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penulisan, dan sistematika penulisan.

Bab 2 menjelaskan landasan teori yang digunakan terkait dengan penelitian. Secara umum, hal-hal yang dibahas pada bab ini meliputi pengertian pengeringan secara umum, pengeringan beku vakum, komponen utama pengeringan beku vakum, perpindahan kalor dan massa, siklus refrijerasi, dan pengukuran aliran refrijeran dengan menggunakan orifis.

Bab 3 menjelaskan secara terperinci mengenai metodologi pengujian pada penelitian ini, meliputi bagan alir penelitian, parameter pengujian, deskripsi alat, metodologi pengujian, dan hasil yang akan didapat dalam pengujian.

Bab 4 menampilkan hasil pengolahan data yang didapatkan. Data yang telah diolah kemudian dianalisis pada bab ini untuk mengkonfirmasi tujuan akhir yang diharapkan pada penelitian ini.

Bab 5 menerangkan kesimpulan yang telah didapat selama masa penelitian.

BAB II

DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang teori dari pembahasan yang diangkat penulis. Beberapa dasar teori digunakan sebagai dasar pembuatan perhitungan dan analisa, sedangkan beberapa dasar teori yang lain hanya dijelaskan karena bahasan tersebut termasuk dari hal-hal yang terjadi pada pengujian yang penulis lakukan. Beberapa dasar teori digunakan untuk perhitungan dan analisa, dan beberapa dasar teori yang lain, contohnya seperti teori pengeringan, laju pengeringan, *heat transfer coefficient* (K_v), dan sistem refrigerasi selengkapnya dibahas dibawah ini.

2.1 Proses Pengeringan

Pengeringan adalah proses pemanfaatan kalor yang terkontrol untuk memindahkan kandungan air di dalam suatu material. Selama proses pengeringan, diperlukan kalor untuk memindahkan kandungan air di permukaan dan di dalam material. Ketika permukaan material mendapatkan, terjadi perpindahan panas dan air akan menguap. Jadi, dalam proses pengeringan terjadi dua peristiwa, yaitu:

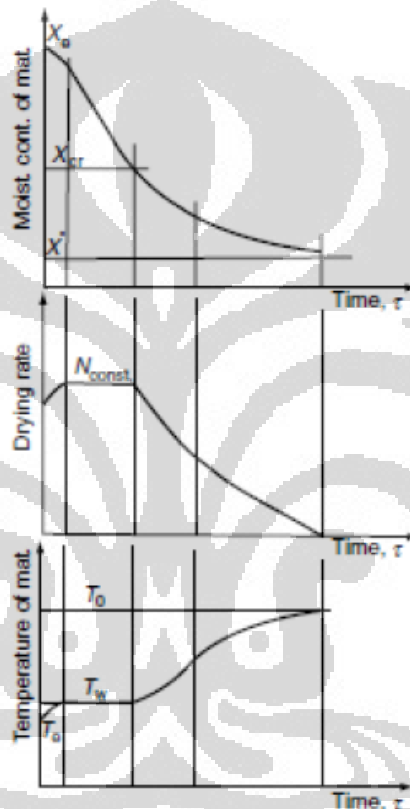
1. Transfer energi (dalam bentuk panas) dari lingkungan untuk mengevaporasi permukaan material; dan
2. Transfer massa (kandungan air) ke permukaan material dari dalam material karena proses 1.

Uap air berdifusi melalui lapisan tipis udara akan terbawa keluar. Hal ini menyebabkan terjadinya daerah bertekanan uap air yang rendah di permukaan material dibandingkan tekanan saturasi air di material. Inilah yang menimbulkan gaya yang mendorong air keluar dari material, karena adanya gradien tekanan. Air bergerak ke permukaan material melalui mekanisme berikut:

1. Pergerakan cairan karena gaya kapilaritas;
2. Difusi cairan; dan
3. Difusi uap air karena perbedaan tekanan uap.

Ketika material yang akan dikeringkan diletakkan pada pengering, akan ada periode pendek di mana temperatur permukaan mencapai temperatur yang sama

dengan temperatur bola basah (*wet bulb temperatur*). Proses pengeringan kemudian berjalan konstan dengan syarat bahwa permukaan selalu basah karena air dari dalam material bergerak ke atas dengan kecepatan yang sama dengan kecepatan evaporasi air di permukaan. Periode ini dinamakan *constant rate period*. Periode ini terus berlangsung hingga mencapai titik kandungan air kritis tercapai. Pada titik ini proses pengeringan masuk ke *falling rate period*.



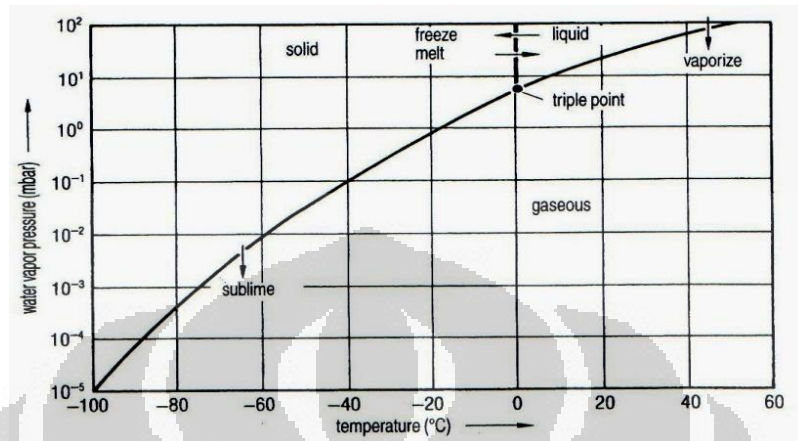
gambar 2. 1 Grafik umum pada proses pengeringan

Sumber : Molnar, Karoly. (2006). Experimental Technique in Drying. In Arun S. Mujumdar (Ed.). *Handbook of Industrial Drying*.

2.2 Pengeringan Beku Vakum

Freeze vacuum drying (pengeringan beku vakum) merupakan proses pengeringan di mana larutan mengalami proses pemvakuman untuk menurunkan tekannannya sehingga menjadi kristal es dan menambahkan panas agar es yang tercipta dapat langsung bersublimasi ke bentuk gas. Proses pengeringan ini terdiri dari tiga tahap, yaitu tahap pembekuan vakum (*vacuum freezing*), tahap pengeringan

awal atau sublimasi (*primary drying*), dan tahap pengeringan lanjut atau desorpsi (*secondary drying*).



gambar 2. 2 Diagram fase dari air

Sumber : (Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 1)

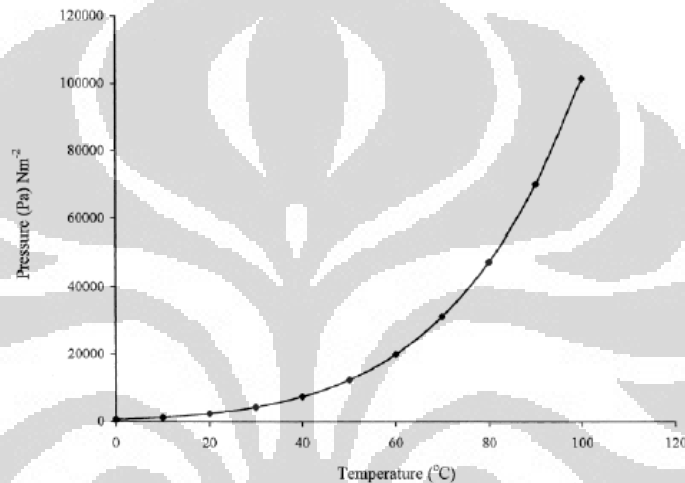
Skematik proses pengeringan beku vakum secara umum dapat dilihat pada gambar 2.3.



gambar 2. 3 Skematik Proses Pengeringan Beku Vakum

2.2.1 Pembekuan Vakum (*Vacuum Freezing*)

Pada tahap pembekuan vakum, temperatur material diturunkan sehingga semua bagiannya berada pada keadaan beku dengan proses pemvakuman menggunakan pompa vakum. Proses pembekuan vakum (*vacuum freezing*) ini berdasarkan prinsip bahwa titik didih berubah seiring fungsi tekanan saturasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Proses ini terus berlanjut hingga material berada pada titik di bawah *triple point* air yaitu tekanan 6,1 mbar dan temperatur 0 °C.

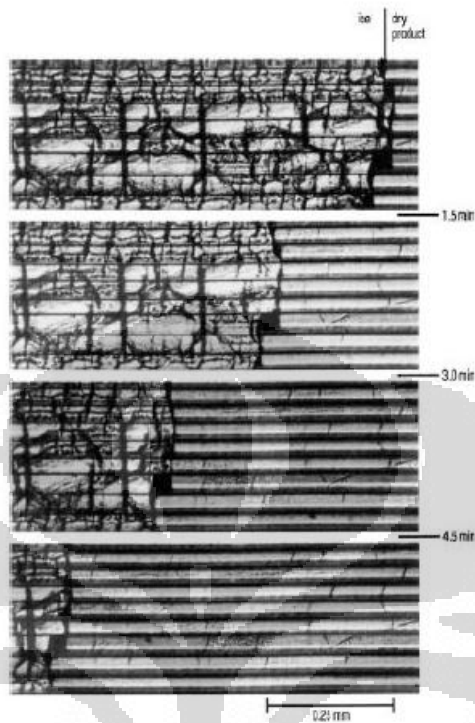


gambar 2. 4 Tekanan Saturasi Air

Sumber: McDonald, Karl & Da-Wen Sun. (2000). *Vacuum Cooling Technology for the Food Processing Industry: a Review*.

2.2.2 Pengerinan

Pengerinan pada dasarnya terdiri dari dua mekanisme perpindahan, yaitu (1) perpindahan energi untuk mengubah es menjadi uap air dan (2) perpindahan uap air dari permukaan sublimasi melalui produk yang telah kering menuju ke ruang pengering dan selanjutnya menuju pompa vakum. Pada tahap pengeringan awal, larutan beku dibuang lewat proses sublimasi. Proses ini membutuhkan tekanan dari sistem (ruang material) yang lebih kecil atau mendekati *triple point*. Jika larutan adalah air, maka tekanan ruang material harus dijaga di bawah 6,1 mbar dan temperatur di bawah 0 °C. Gambar di bawah menunjukkan proses pengeringan awal pada tepung kanji *hydroxyethyl* dengan campuran 10% larutan dilihat menggunakan *cryomicroscope*.



gambar 2. 5 Proses Pengeringan Awal

Sumber: Oetjen, George W. and Aseley, Peter H. (2004). *Freeze Drying*, (2nd ed.).

Seiring dengan tersublimasinya es, lapisan sublimasi yang tercipta dari bagian luar permukaan material berkurang dan menyisakan material kering yang berpori. Setelah es tersublimasi, air yang tidak tersublimasi diserap keluar dari padatan. Proses ini disebut proses pengeringan lanjutan dimana kenaikan temperatur material berjalan antara ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{min} - 0,3^{\circ}\text{C}/\text{min}$) (sumber: Schneid Stefan Christian. (2009) *Investigation of Novel Process Analytical Technology (PAT) Tools for Use in Freeze – Drying Processes*). Pada proses ini, perpindahan energi tidak memainkan peranan penting karena jumlah air yang terkandung kurang dari 10% dari padatan. Namun demikian, proses pengeringan lanjut tetap memakan waktu yang cukup lama seperti pengeringan awal.

Seperti yang diketahui pengeringan beku dengan metode pemvakuman merupakan metode terbaik. Kenapa dikatakan terbaik karena memiliki beberapa keuntungan yaitu :

- Dengan proses pada temperatur rendah dapat mengurangi degradasi kandungan mineral pada bahan yang mempunyai sensitifitas panas tinggi.
- Kandungan air dari produk akhir dapat dikendalikan selama proses berlangsung.
- Produk kering mempunyai penampilan yang bagus.

Kerugian Penggunaan Pengereng Beku:

Selain memiliki kelebihan sistem pengereng beku ini juga memiliki kerugian.

Kerugiann itu antara lain:

- Biaya yang mahal pada pengadaan alat, pengoperasian serta perawatan.
- Kompleksitas proses serta peralatan membutuhkan tenaga ahli yang dapat saling bekerjasama dengan baik.
- Waktu pengeringan yang relatif lama

2.3 Komponen-komponen Utama Pengeringan Beku Vakum.

Komponen-komponen utama pengeringan beku sendiri terdiri dari macam-macam komponen yang mempunyai fungsi-fungsi yang berbeda tetapi dirakit menjadi satu sistem keseluruhan sehingga membentuk satu sistem baru, satu rangkaian yang berfungsi sebagai pengereng beku. Komponen-komponen pengereng beku ini meliputi :

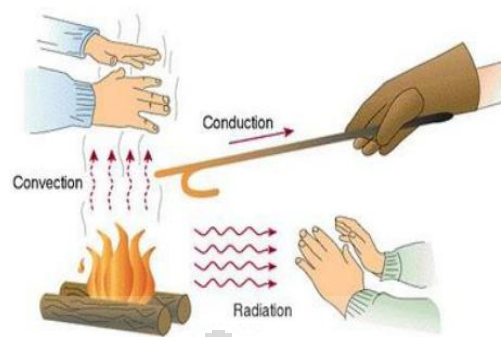


gambar 2. 6 Freeze Vacuum Drying

1. Ruang pengering (*chamber*) yang berisi pemanas atas dan bawah, dan tempat untuk meletakkan wadah sampel. Ruang pengering juga dilengkapi dengan *pressure transmitter* untuk pengukuran tekanan dan termokopel untuk pengukuran suhu ruang pengering, lapisan sampel, dan suhu pemanas.
2. Perangkat uap (*cold trap*) yang merupakan alat untuk menangkap uap air selama sublimasi sehingga uap air tersebut tidak masuk ke pompa vakum.
3. Sistem refrigerasi yang terdiri dari kompresor, kondenser, katup ekspansi, dan evaporator yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap air pada perangkat uap.
4. Pompa Vakum yang berfungsi untuk menurunkan tekanan pada ruang vakum dan evaporator.
5. Panel listrik yang berfungsi sebagai panel untuk pengaman dari alat-alat sistem pendingin seperti kompresor, kipas kondenser dan lain-lain

2.4 Perpindahan Kalor dan Massa

Secara natural perpindahan kalor terjadi akibat adanya perbedaan temperatur, dimana kalor bergerak dari suatu area yang memiliki temperatur lebih tinggi. Proses perpindahan kalor ini akan terus berlangsung hingga akhirnya kedua area yang memiliki perbedaan temperatur mengalami kesetimbangan temperatur. Perpindahan kalor melalui suatu bahan padat yang disebut peristiwa konduksi, menyangkut pertukaran energi pada tingkat molekuler. Sebaliknya, radiasi adalah proses yang membawa energi dengan jalan pelompatan foton dari suatu permukaan ke permukaan yang lain. Radiasi dapat menyebrangi ruang vakum dan tidak bergantung pada media perantara untuk menghubungkan dua permukaan. Perpindahan kalor konveksi tergantung pada konduksi antara permukaan benda padat dengan fluida terdekat yang bergerak. Jadi masing – masing mekanisme perpindahan kalor berbeda satu sama lainnya, akan tetapi semuanya memiliki karakteristik umum karena masing–masing tergantung pada suhu dan dimensi benda yang ditinjau.



gambar 2. 7. Mekanisme Perpindahan Kalor

Sumber: Rahmat, D . (2010). *Jenis Aliran Panas*. 18 Mei 2011.

2.4.1 Perpindahan Kalor Konduksi

Jika sebuah logam yang salah satu ujungnya dipanaskan dalam selang waktu tertentu, ujung lainnya pun akan terasa panas. Hal ini menunjukkan bahwa pada batang logam tersebut terjadi aliran atau perpindahan kalor dari bagian logam yang bertemperatur tinggi ke bagian logam yang bertemperatur rendah. Perpindahan kalor pada benda padat yang tidak diikuti perpindahan massa ini disebut dengan perpindahan kalor secara konduksi. Jadi konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara dan selama terjadi perpindahan kalor tidak disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat perantaranya.

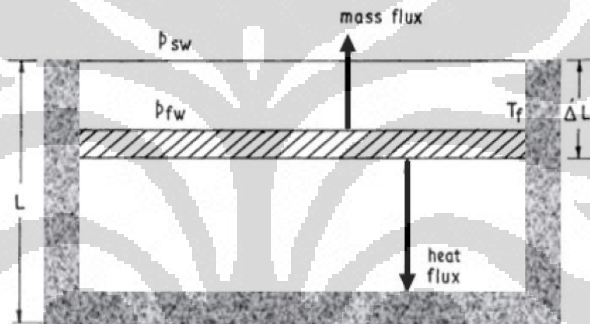
Perpindahan kalor di dalam zat padat dapat dijelaskan dengan teori atom. Atom-atom dalam zat padat yang dipanaskan akan bergetar dengan kuat. Atom atom yang bergetar akan memindahkan sebagian energinya kepada atom atom tetangga terdekat yang ditumbuknya. Kemudian atom tetangga yang ditumbuk dan mendapatkan kalor ini akan ikut bergetar dan menumbuk atom tetangga lainnya, demikian seterusnya sehingga terjadi perpindahan kalor dalam zat padat.

Syarat terjadinya konduksi kalor suatu benda adalah adanya perbedaan temperatur antar dua tempat pada benda tersebut. Kalor akan berpindah dari tempat bertemperatur tinggi ke tempat bertemperatur rendah. Jika temperatur kedua tempat tersebut menjadi sama, maka rambatan kalor pun akan terhenti.

Berdasarkan kemampuan suatu zat menghantarkan kalor secara konduksi, zat dapat digolongkan menjadi dua golongan, yaitu konduktor dan isolator. Konduktor

adalah zat yang dapat menghantarkan kalor dengan baik, sedangkan isolator adalah kebalikannya, yaitu zat yang sukar menghantarkan kalor. Dari hasil percobaan diperoleh bahwa perpindahan kalor secara konduksi bergantung pada jenis logam, luas penampang penghantar kalor, perbedaan temperatur antar ujung-ujung logam, serta panjang penghantar yang dilalui oleh kalor tersebut.

Gambar 2.8 merepresentasikan perpindahan panas dan massa pada material yang dikeringkan di tahap awal. Wadah material diisolasi sehingga perpindahan panas hanya dari arah lingkungan menuju material beku secara satu dimensi. Batas antara material kering dengan material beku adalah permukaan sublimasi. Kondisi batas adalah hanya pada wadah material.



gambar 2. 8 Skema Perpindahan Kalor dan Massa dengan Kondisi Batas Konduksi

Sumber: George, James P. and Datta, A.K. (2001). Development And Validation of Heat and Mass Transfer Models for Freeze-Drying of Vegetable Slices.

Persamaan matematis untuk besarnya perpindahan kalor konduksi pada skema di atas adalah:

$$q = \frac{\lambda}{L-\Delta L} (T_s - T_f) \dots \dots \dots (2.1)$$

Jika dilakukan substitusi $\Delta L = (1 - x)L$, maka didapat:

$$q = \frac{\lambda}{xL} (T_s - T_f) \dots \dots \dots (2.2)$$

Sementara laju penguapan dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{\lambda}{xL} (T_s - T_f) = mh$$

$$m = \frac{\frac{\lambda}{xL} (T_s - T_f)}{h} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

q = heat flux (W/m^2)

m = laju pengeringan ($kg/m^2 \cdot s$)

λ = Konduktivitas termal es ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

T_s = Temperatur pemanas ($^\circ C$)

T_f = Temperatur material beku ($^\circ C$)

h = Kalor Laten Sublimasi ($J/kg \cdot ^\circ C$)

Sumber: George, James P. and Datta, A.K. (2001). Development And Validation of Heat and Mass Transfer Models for Freeze-Drying of Vegetable Slices. Telah diolah kembali

2.5 Heat Transfer Coefficient (K_v)

Nilai K_v adalah ukuran untuk jumlah total panas yang ditransmisikan ke produk beku, nilai ini dapat digunakan untuk mendiskripsikan karakteristik perpindahan panas pada wadah material (*tray*) yang digunakan.

Hubungan antara perpindahan massa saat sublimasi dan perpindahan panas ke produk yang disebabkan oleh material *tray* (K_v) dihubungkan oleh persamaan berikut:

$Q_{\text{material tersublimasi}} = Q_{\text{yang diterima material}}$

$$\frac{dm}{dt} \cdot H_s = A_v \cdot K_v \cdot (T_c - T_m)$$

$$K_v = \frac{\frac{dm}{dt} \cdot H_s}{A_v \cdot (T_s - T_f)} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana:

K_v = Koefisien perpindahan panas $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

$\frac{dm}{dt}$ = laju massa pengeringan (kg/s)

H_s = Kalor Laten Sublimasi (J/kg)

A_v = Luas Wadah Material (m^2)

T_s = Temperatur pemanas ($^\circ C$)

T_f = Temperatur material beku ($^\circ C$)

Sumber: Schneid Stefan Christian. (2009) Investigation of Novel Process Analytical Technology (PAT) Tools for Use in Freeze – Drying Processes. Telah diolah kembali.

2.6 Massa Material yang Terevaporasi

Pada saat kondisi *vacuum freezing* material akan mengalami pengurangan massa akibat terevaporasi. Kondisi terevaporasi adalah kondisi dimana fase cairan yang seharusnya berubah ke fase padatan namun cairan akan terlebih dahulu berubah ke fase gas sebelum ke fase padatan, hal ini akan menyebabkan terjadinya jumlah massa yang akan terevaporasi.

Jumlah setiap massa yang terevaporasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{\text{yang diterima material}} = Q_{\text{material terevaporasi}}$$

$$m \cdot C_p \cdot \Delta T = \Delta m H_{fg}$$

$$\Delta m = \frac{m \cdot C_p \cdot \Delta T}{H_{fg}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana:

Δm = massa yang terevaporasi (kg)

m = massa awal material (kg)

C_p = *Specific heat capacity* (J/Kg.°C)

ΔT = Temperatur Evaporasi (°C)

H_{fg} = Kalor Laten Evaporasi (J/kg)

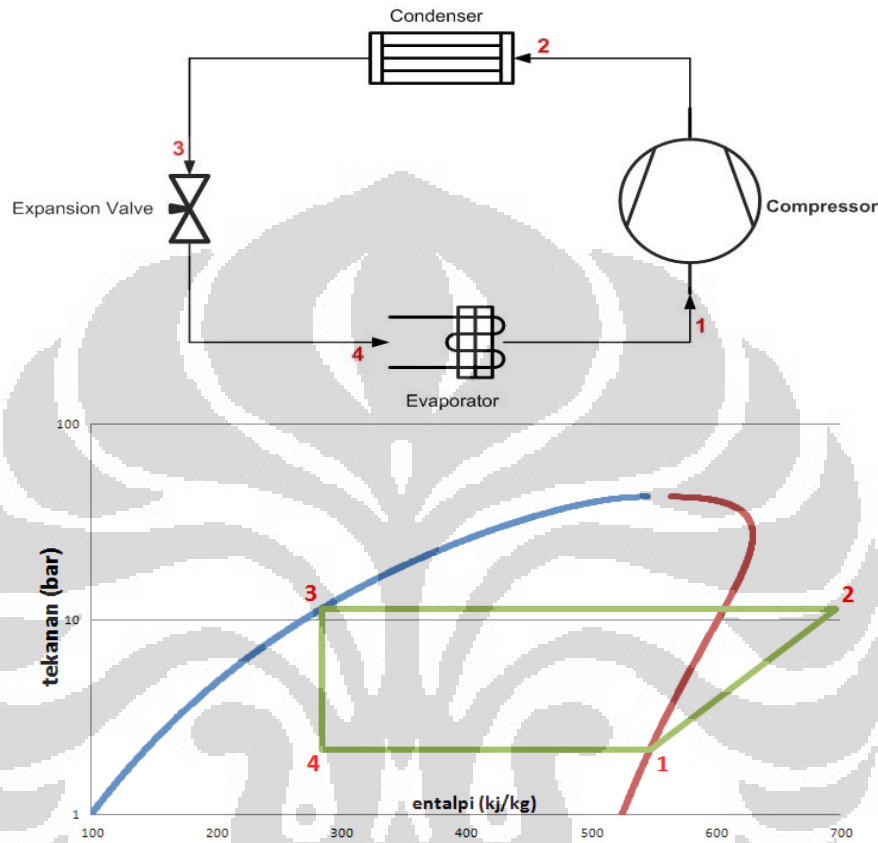
Sumber: Schneid Ozturk , Hande Mutlu and Ozturk, (2009) Effect of pressure on the vacuum cooling of iceberg lettuce. Telah diolah kembali.

2.7 Siklus Refrijerasi

Refrijerasi adalah proses penyerapan kalor dari suatu benda ruang. Kalor diserap dari makanan untuk menjaga kualitas dan rasanya. Kalor diserap dari udara ruangan untuk menjaga kenyamanan manusia. Selama proses refrijerasi, kalor yang tidak dibutuhkan ditransfer secara mekanikal ke daerah lain. Fluida yang disebut refrijeran merupakan bagian utama dari perpindahan kalor oleh sistem refrijerasi.

2.7.1 Sistem Refrijerasi Siklus Tunggal

Siklus refrijerasi tunggal memiliki satu tingkat kompresor seperti gambar 2.9 dibawah.



gambar 2. 9 sistim refrijerasi siklus tunggal

Siklus refrijerasi kompresi-uap ideal merupakan kebalikan siklus Carnot, di mana refrijeran harus menguap seluruhnya sebelum dikompresi pada kompresor dan kemudian mengalir menuju *expansion valve* (digantikan peranannya oleh needle valve pada alat ini). Seperti terlihat pada skema dan diagram *T-s* di atas, ada empat proses yang terjadi, yaitu:

- 1-2 : Kompresi isentropis dalam kompresor
- 2-3 : Pembuangan kalor secara isobaris dalam kondenser
- 3-4 : *Throttling* dalam katup ekspansi
- 4-1 : Penyerapan kalor secara isobaris dalam evaporator

Dari gambar 2.9, alur refrigeran dimulai pada kondisi 1 saat masuk kompresor sebagai uap jenuh kemudian dikompresi secara isentropik sampai tekanan kondensor. Temperatur refrigeran naik selama proses kompresi ini di atas temperatur lingkungan. Refrigeran kemudian masuk ke kondensor sebagai uap *superheat* pada tingkat keadaan 2 dan keluar sebagai cairan jenuh pada tingkat keadaan 3 sehingga terjadi pelepasan kalor ke lingkungan. Refrigeran pada tingkat keadaan 3 ini diekspansi sampai tekanan evaporator melalui katup ekspansi atau pun pipa kapiler. Temperatur refrigeran menjadi turun di bawah temperatur ruangan yang dikondisikan selama proses ini. Refrigeran masuk ke evaporator pada tingkat keadaan 4 (diidealisasi sebagai ekspansi isentropik pada tingkat keadaan 4') sebagai campuran saturasi dua-fasa (cair-uap) dengan kualitas rendah, kemudian refrigeran menguap seluruhnya dengan menyerap kalor dari ruangan yang dikondisikan tersebut. Refrigeran keluar dari evaporator sebagai uap jenuh dan masuk kembali ke kompresor pada tingkat keadaan 1.

2.7.2 Refrijeran

Refrijeran adalah substansi yang dapat menyerap kalor laten ketika berubah fase dari cair menjadi uap. Hal ini terjadi pada tekanan dan temperatur yang rendah. Refrijeran membuang kalor laten ketika berkondensasi dari gas menjadi cairan. Syarat- syarat sebuah sefrijeran yang baik adalah sebagai berikut:

- titik didih yang rendah;
- tidak beracun;
- mudah untuk dicairkan pada temperatur dan tekanan sedang
- tidak terpengaruh oleh uap air;
- dapat bercampur dengan oli; dan
- tidak bersifat korosif terhadap metal.

Pada tabel 2.1 berikut ditampilkan beberapa sifat fisis dari beberapa jenis refrijeran

Tabel 2. 1 Sifat Fisis Beberapa Jenis Refrijeran

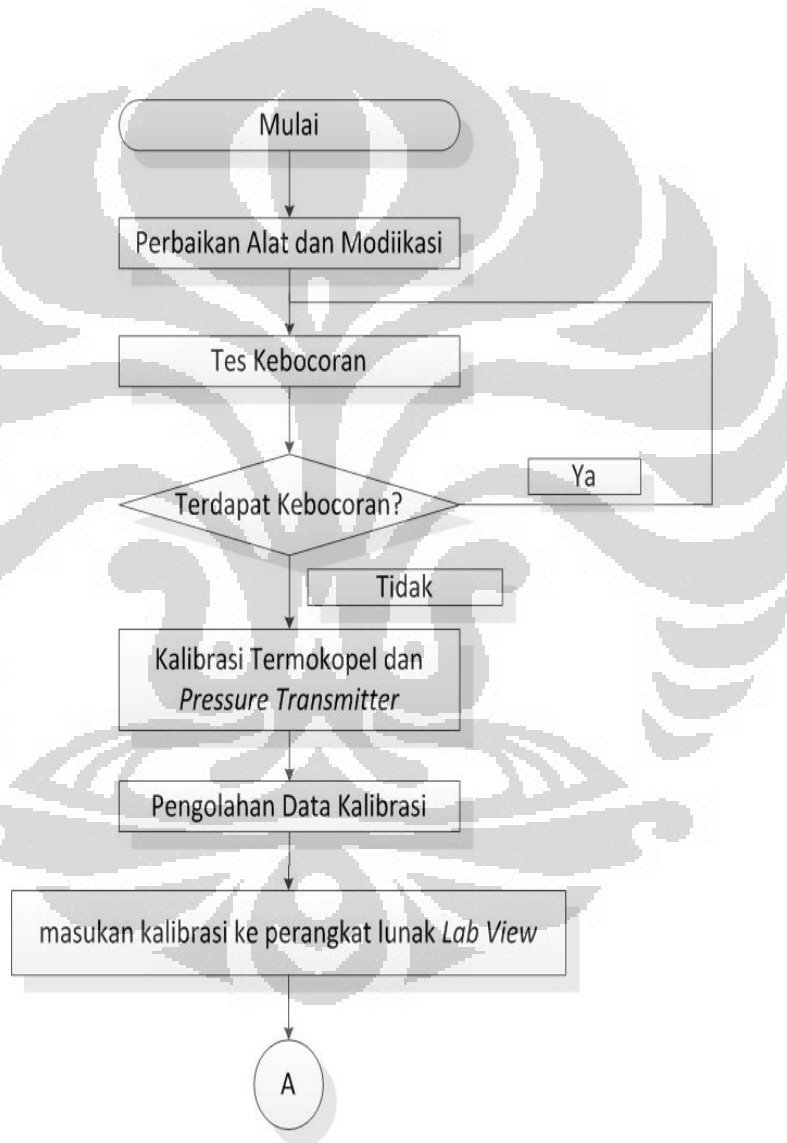
Refrigerant	Name	Molecular Mass	Boiling point at atmospheric pressure (°F)	Freezing Point at atmospheric pressure (°F)	Critical Point		
					Temperature (°F)	Pressure (psia)	Specific Volume (Cu.Ft./lb.)
R-143a	<i>Trifluoroethane</i>	84	-53.5				
R-150a	<i>Dichloroethane</i>	98.9	140				
R-152a	<i>Difluoroethane</i>	66.05	-13				
R-160	<i>Ethyl Chloride</i>	64.515	12.2	-218			
R-170	<i>Ethane</i>	30.07	-127	-278	90	710	0.083
R-218	<i>Octafluoropropane</i>	188	-36.4				
R-290	<i>Propane</i>	44.097	-44	-309.8	206	617	0.0728
RC-318	<i>Octafluorocyclobutane</i>	200.04	22	-43	240	404	0.0258
R-410A	<i>R-32 Difluoromethane (50% weight), R-125 Pentafluoroethane (50% weight)</i>	72.6	-55.4		162	690	
R-500	<i>Dichlorodifluoromethane/ Difluoroethane</i>	99.31	-28	-254	222	642	0.0323
R-502	<i>Chlorodifluoromethane/ Chloropentafluoroethane</i>	111.63	-50		180	591	0.0286
R-503	<i>Chlorotrifluoromethane/ Trifluoromethane</i>	87.5	-128		67	607	0.0326
R-600	<i>n-Butane</i>	58.12	31.2	-217	306	551	0.0702
R-600a	<i>Isobutane (2-Methyl propane)</i>	58.12	10.8	-229	275	529	0.0725

Sumber : The Engineering Toolbox. (n.d.). *Refrigerants-Physical Properties*. 18 Mei 2011

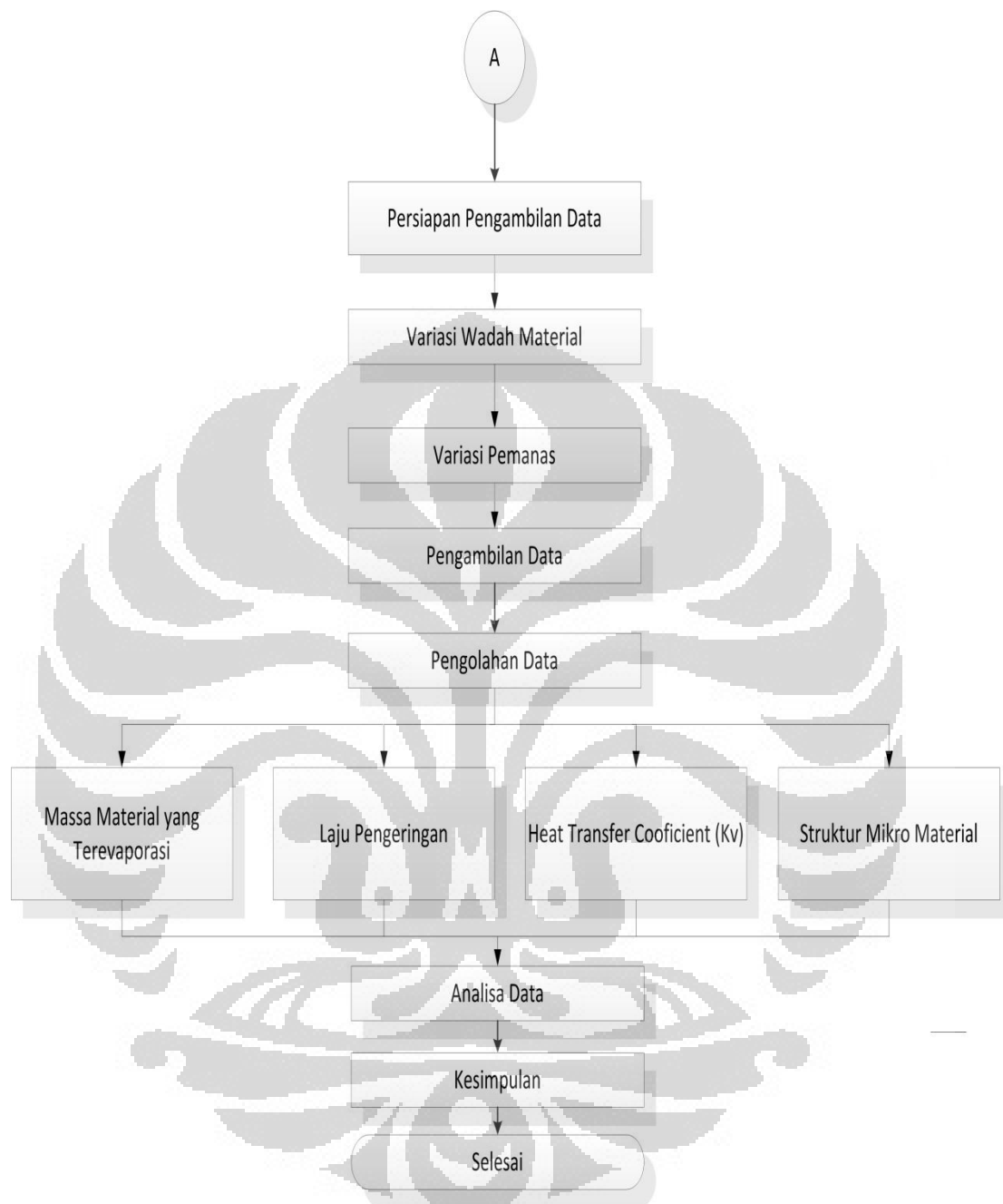
BAB III METODE PENGUJIAN

3.1 Diagram Alir Pengujian

Berikut ini adalah diagram alir pengujian yang dilakukan. Dari mulai perbaikan alat uji yang sudah ada sampai bisa mengambil kesimpulan terhadap pengujian yang dilakukan.



gambar 3. 1 Diagram Allir Pengujian 1



gambar 3. 2 Diagram Allir Pengujian 2

3.2 Parameter Pengujian

Pada pengujian pengering beku vakum ini parameter-parameter yang ditentukan adalah berupa tekanan, temperatur, dan wadah material (*material tray*). Adapun parameter-parameter itu adalah :

2.4.2 Tekanan

Tekanan yang dimaksud adalah tekanan vakum yang akan dihasilkan pada ruang vakum dibatasi dengan *range* dibawah 6.1 mbar. Dalam hal ini tekanan vakum yang dimaksud dibatasi mengingat kemampuan pompa vakum sendiri dan tabung yang akan digunakan untuk pengujian.

2.4.3 Temperatur

Ada beberapa temperatur yang ditentukan dalam pengambilan data ini. Pertama adalah temperatur ruang vakum yang dihasilkan oleh pemanas yang dibatasi sesuai dengan pengambilan data (dijadikan variabel pengambilan data). Kedua adalah temperatur pemanas yang divariasikan tanpa pemanas, 27°C, dan 32°C.

2.4.4 Wadah Material (*Material Tray*)

Material Tray adalah wadah yang digunakan untuk menampung material dalam setiap pengujian. Wadah yang digunakan adalah Teflon, *Stainless Steel*, dan Plastik. Ketiga wadah material mempunyai nilai konduktivitas termal yang berbeda. Sehingga akan menghasilkan laju pengeringan dan kualitas material yang berbeda.

tabel 3. 2 variasi data pengujian

Wadah Material	Perlakuan Tambahan		
	Pemanas	Pemanas	Pemanas
Plastik	Tanpa Pemanas	27°C	32°C
<i>Stainless Steel</i>	Tanpa Pemanas	27°C	32°C
Teflon	Tanpa Pemanas	27°C	32°C

3.3 Deskripsi Alat

Pada pengujian ini sesuai dengan komponen yang dibutuhkan diatas yang kemudian disusun sesuai dengan kebutuhan pengujian. Untuk lebih jelasnya fungsi masing-masing dari alat yang menyusun rangkaian alat pengujian ini dapat dijelaskan pada sub bab dibawah ini.

Komponen-komponen yang digunakan antara lain :

- a. Pompa vakum.
- b. Tabung vakum.

- c. Wadah Material (*Tray*)
- d. *Condensing Unit*
- e. *Needle valve*

Alat Ukur yang digunakan antara lain

- a. Termokopel.
- b. Timbangan *Digital*.
- c. *Pressure Transmitter*.
- d. *orifis*
- e. *National Instrument (DAQ)*

2.2.3 Komponen yang digunakan

- a. Pompa Vakum

Pompa vakum yang digunakan mempunyai spesifikasi:



gambar 3. 3 Vacuum Pump

Type : *Direct oil rotary vacuum pump*

AC 220 V 50Hz

Displacement : 50 Hz – 1200 L/min

60 Hz – 1440 L/min

Ultimate Vacuum : 6.7×10^{-2} Pa

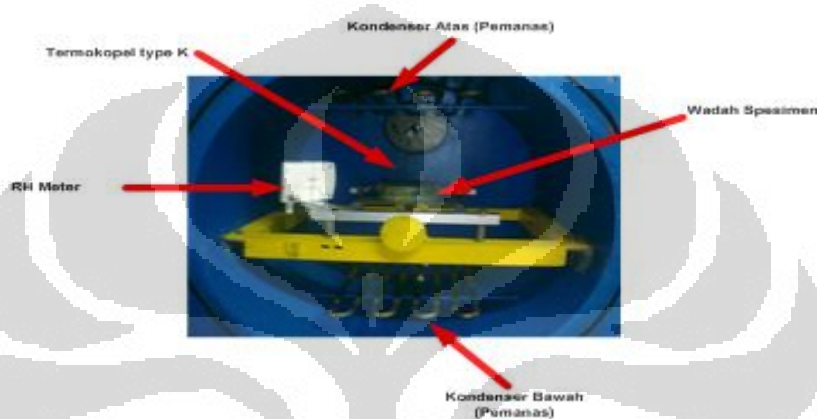
Motor Power : 2.2 kW

Oil Capacity : 2.8 L

Pump Weight : 138 kg.

b. Tabung Vakum

Tabung pemvakuman merupakan salah satu bagian utama dari alat *freeze vacuum drying* dimana digunakan untuk tempat pengujian. Tabung ini sendiri dirancang untuk dapat digunakan sebagai tempat melekatnya alat ukur seperti *pressure transmitter*, dan termokopel. Juga digunakan untuk tempat menaruh produk uji (*specimen*), dengan raknya.



gambar 3. 4 Ruang Vakum

c. Wadah Material (*material tray*)

Terdapat variasi wadah material yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu, *stainless steel*, dan plastik. Ketiga wadah tersebut diisolasi sehingga hanya sisi dari atas dan bawah wadah material dapat menerima dan menghasilkan panas dengan konduktivitas termal yang berbeda. Diameter wadah material yang digunakan 12cm



gambar 3. 5 wadah material (*material tray*) *stainless steel*, plastik, teflon

d. *Condensing Unit*

Condensing unit merupakan gabungan antara kompresor dan *condenser* dalam satu dudukan. Satu buah kompresor, satu buah kondenser *fan*, serta sebuah *liquid receiver* dan *accumulator*



gambar 3. 6 *condensing unit*

f. *Needle Valve*

Needle valve adalah jenis katup yang mempunyai celah kecil dan *plunger* yang berbentuk jarum. Kelebihan jenis katup ini adalah pengaturan *plunger* yang jauh lebih teliti daripada katup lainnya. Katup ini digunakan pada alat sebagai pengganti *expansion valve* dan alat bantu saat kalibrasi *pressure transmitter*.

Merk/ tipe : Hy-Lock

Tekanan maksimum : 6000 psi



gambar 3. 7 Needle valve

2.2.4 Alat ukur

a. Termokopel

Termokopel adalah alat ukur temperatur yang banyak dipakai di industri. termokopel terdiri dari dua logam yang didekatkan yang apabila terpapar oleh kalor dengan temperatur tertentu akan menghasilkan beda potensial yang sebanding dengan perubahan temperatur (*Seedback Effect*).

Tipe : K

Range kerja : $-200^{\circ}\text{C} - 1.350^{\circ}\text{C}$

Ketelitian : $\pm 1^{\circ}\text{C}$



gambar 3. 8 Termokopel tipe – K

b. Timbangan *Digital*

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 1 angka dibelakang koma dengan satuan gram, type ACIS AD-6000H dengan batas kemampuan 3000 gr. Timbangan ini dipakai untuk menimbang massa dari produk pada saat pengujian.

gambar 3. 9 Timbangan *Digital*

c. Pressure Transmitter

Pressure Transmitter adalah sebuah instrumentasi yang digunakan untuk mengukur tekanan, pengukuran tekanan ini berupa arus (A) yang kemudian dikonversi dalam satuan tekanan (bar). Pengukuran dilakukan pada tabung pemvakuman serta *discharge line* dari kompresor. Dengan spesifikasi sebagai berikut

Model : PTX 1400 GE *druck industrial pressure sensors*

Vacuum : -1 – 1,6 bar

Suction : 0 – 16 bar

Discharge : 0 – 40 bar

Ampere : 4 – 20 mAmpere

Operating Temperatur : (-20°C to 80°C).

Akurasi : 0,15%

(Sumber : http://www.issltd.co.uk/acatalog/PTX1400_Series.html)

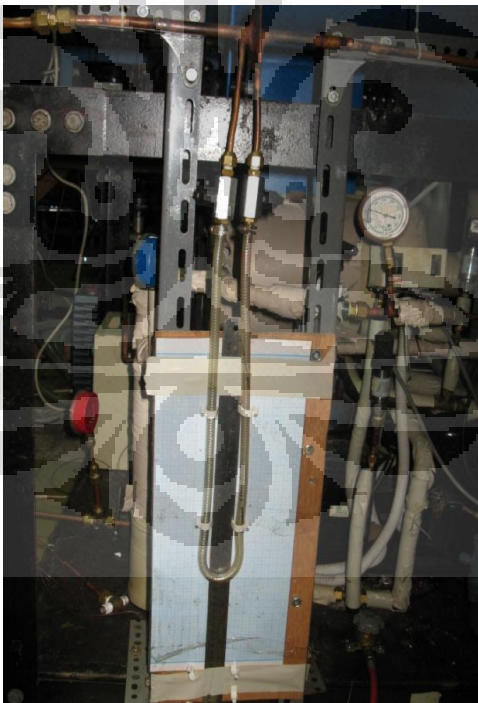


gambar 3. 10 *pressure transmitter*

http://www.trcorporation.com/Products/images/DRU_PTX1400-4.jpg

d. Orifis

Orifis adalah salah satu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volum atau massa fluida di dalam saluran yang tertutup (pipa) berdasarkan prinsip beda tekanan. Alat ini berupa plat tipis dengan gagang yang diapit diantara flens pipa. Aliran yang diukur menggunakan alat ini adalah *mass flow* refrijeran.



gambar 3. 11 orifis

e. *Data Acquisition Manager (DAQ)*

Data Acquisition Manager (DAQ) adalah alat untuk membantu dalam proses pencatatan dan pengambilan data. Alat ini terhubung ke termokopel dan *pressure transmitter*.

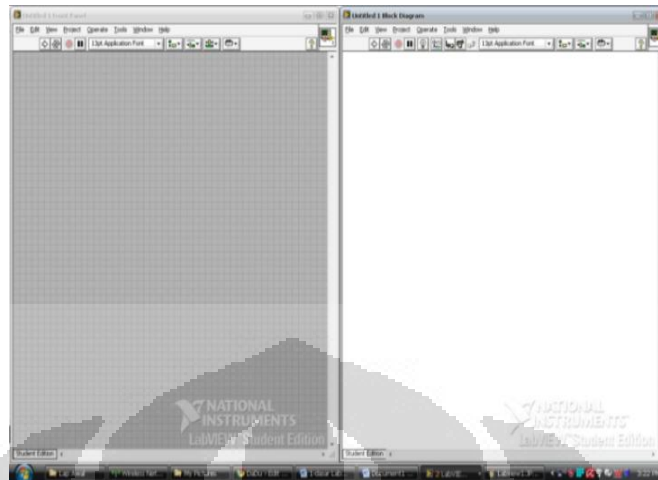
Merk/ tipe: National Instrument / cDAQ-9174



gambar 3. 12 DAQ

Software instrumentasi yang digunakan pada saat pengukuran :

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument and Engineering Workbench*) LabVIEW adalah perangkat lunak komputer untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali instrumentasi serta automasi industri yang pertama kali dikembangkan oleh perusahaan *National Instruments* pada tahun 1986. LabVIEW merupakan salah satu bahasa pemrograman komputer grafik yang menggunakan *icon-icon* sebagai pengganti teks dalam membuat aplikasi. Program LabVIEW disebut dengan *Virtual Instrument (VI)* karena beberapa tampilan dan operasi pada program LabVIEW menyerupai suatu instrumen seperti osiloskop dan multimeter. Setiap VI menggunakan fungsi-fungsi yang memanipulasi input dari user interface atau sumber lain dan menampilkan informasi tersebut atau memindahkan informasi tersebut ke *file* komputer lain. Data yang didapat dari program ini dalam bentuk teks (.lvm).



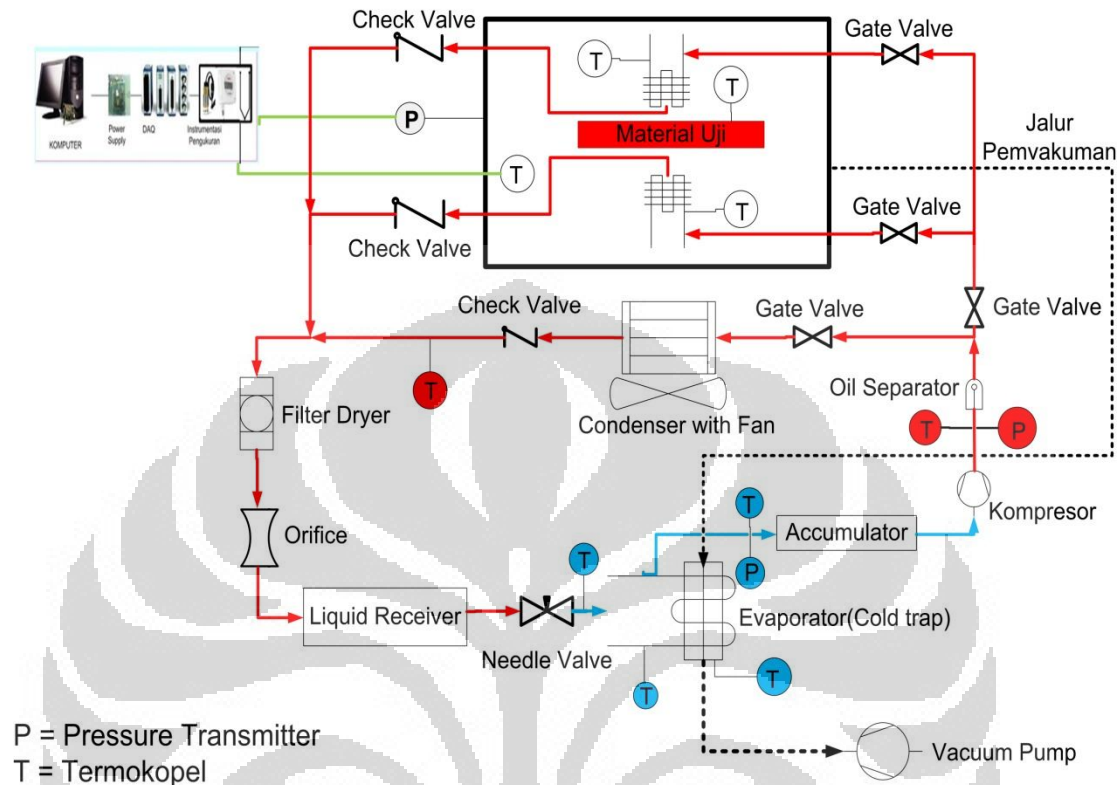
gambar 3. 13 tampilan Lab View

3.4 Metodologi Pengujian

3.4.1 Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan peralatan yang telah disebutkan pada sub bab sebelumnya, berlokasi di Laboratorium Refrijerasi lantai III Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok. Uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan di Jurusan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia

3.4.2 Skematik Alat

gambar 3. 14 skematik alat *freeze vacuum drying*

Gambar 3.13 memperlihatkan skema dari mesin pengering beku vakum yang digunakan pada percobaan ini. Seperti yang telah disebutkan di atas, evaporator dari sistem refrijerasi dimanfaatkan sebagai ruangan material dan *coldtrap*. Kedua sistem tersebut kemudian disambungkan dengan sebuah pompa vakum. Pada ruangan material dipasang satu buah *pressure transmitter* untuk mengetahui tekanan di dalam ruang dan 5 termokopel, 1 untuk mengetahui temperatur ruang dan 2 untuk mengetahui temperatur material, serta 2 untuk mengukur temperatur pemanas. Sementara itu di ruang *coldtrap* terdapat 2 termokopel untuk mengetahui temperatur ruangan *coldtrap* dan temperatur *refrigerant*. Selain itu, di titik-titik tertentu pada sistem refrijerasi juga akan dipasang 4 termokopel dan 2 buah *pressure transmitter*. Dengan demikian, terdapat 11 termokopel, dan 3 *pressure transmitter* pada alat ini.

tabel 3. 3 Posisi termokopel dan *Pressure Gauge* pada sistim refrijerasi

<i>Pressure Transmitter</i>	Termokopel	Sistem	Setelah	Sebelum
1	1	<i>Single Stage</i>	Kompresor	Kondenser
-	2		kondenser	Needle Valve
-	3		<i>Needle Valve</i>	Evaporator (<i>cold trap</i>)
2	4		Evaporator (<i>cold trap</i>)	Kompresor

3.5 Benda Uji

Benda uji yang dipilih untuk pengujian adalah aloe vera. *aloevera* (lidah buaya) yang memiliki kandungan air sebesar 98,7%. Hasil kandungan air tersebut diperoleh dari pemeriksaan kandungan melalui uji proksimat dan analisis mineral berdasarkan hasil pemeriksaan di laboratorium analisis komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000.



gambar 3. 15 Aloe vera

sumber: http://i1.squidoo.com/resize/squidoo_images/250/draft_lens12105341module110122791photo_1279034605aloe-vera.jpg

3.6 Persiapan Sebelum Pengujian

Sebelum pengujian hal-hal yang yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah :

- a. Memastikan alat-alat instrumentasi apakah sudah siap dipakai serta melihat jika kemungkinan tidak bisa dipakai maka harus menyiapkan alternatif lain.
- b. Mempersiapkan benda uji, supaya tidak menghambat pengujian dan menghemat waktu dalam mempersiapkan pengujian.
- c. Mengukur massa dari spesimen sebelum pengujian.
- d. Menyusun alat ukur sesuai dengan kondisi dan tempat pengukuran. Alat ukur harus dalam keadaan siap pakai.

- e. Menutup rapat tabung sehingga dipastikan tidak ada kebocoran.

3.7 Pengujian

Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

- a. Alat-alat instrumentasi seperti termokopel dan *pressure transmitter* dihubungkan pada modul *national instrument* dan dihubungkan ke komputer supaya dapat direkam data pengujian oleh Lab View.
- b. Meletakkan produk pada wadah yang telah dibuat, serta menaruh 2 buah termokopel pada spesimen dengan akumulasi ketinggian 5 mm, hal ini dimaksudkan agar temperatur produk dapat diketahui seiring proses pembekuan dan pengeringan berlangsung.
- c. Tabung ditutup, kemudian dicatat temperatur tekanan awal tersebut 1000 mbar
- d. Sistem pendingin dinyalakan sampai temperatur evaporator (*coldtrap*) mencapai suhu yang ingin dicapai setelah dilakukan penyesuaian laju aliran massa oleh *needle valve*.
- e. Katup bukaan panas kondenser dibiarkan tertutup.
- f. Jika temperatur evaporator sudah mencapai suhu yang ingin dicapai dan stabil maka pompa vakum dinyalakan sehingga udara dari dalam tabung dihisap.
- g. Bila tekanan tabung sudah mencapai tekanan yang rendah dan stabil maka katup bukaan panas buang kondenser dibuka perlahan-lahan sampai temperatur kondenser yang ditentukan sebagai pemanas.
- h. Kegiatan ini dibiarkan terus, penulis hanya mengamati fenomena data akuisisi pada komputer bila temperatur evaporator terjadi fluktuasi yang tinggi maka harus menutup kembali katup pemanas hingga temperatur evaporator kembali stabil. Apabila sudah kembali stabil maka katupnya dibuka perlahan-lahan dengan maksud supaya sistem berjalan dengan baik.
- i. Data pengujian akan otomatis terekam pada komputer.

3.8 Hasil Pengujian

Setelah melakukan pengujian selama kurang lebih satu semester, maka berhasil didapatkan data seperti pada bab 4, yang dapat dinyatakan dengan grafik.

BAB IV

ANALISA DAN DATA

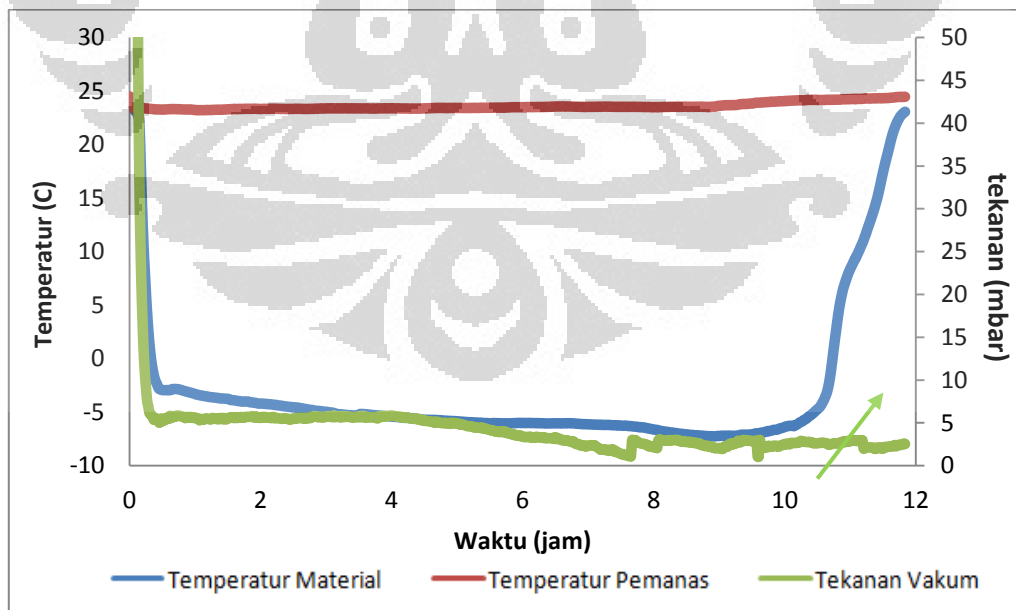
Pembahasan bab ini berkisar pada pengolahan sebagian data yang penulis ambil pada saat pengujian, dan penulis hadirkan pada bab ini dalam bentuk tabel dan grafik. Analisa dilakukan pada beberapa perhitungan, namun ada juga yang tidak penulis analisa. Grafik dan tabel kami analisa sesuai dengan pokok permasalahan yang diangkat. Selengkapnya tertulis dibawah ini.

4.1 Proses Pengeringan

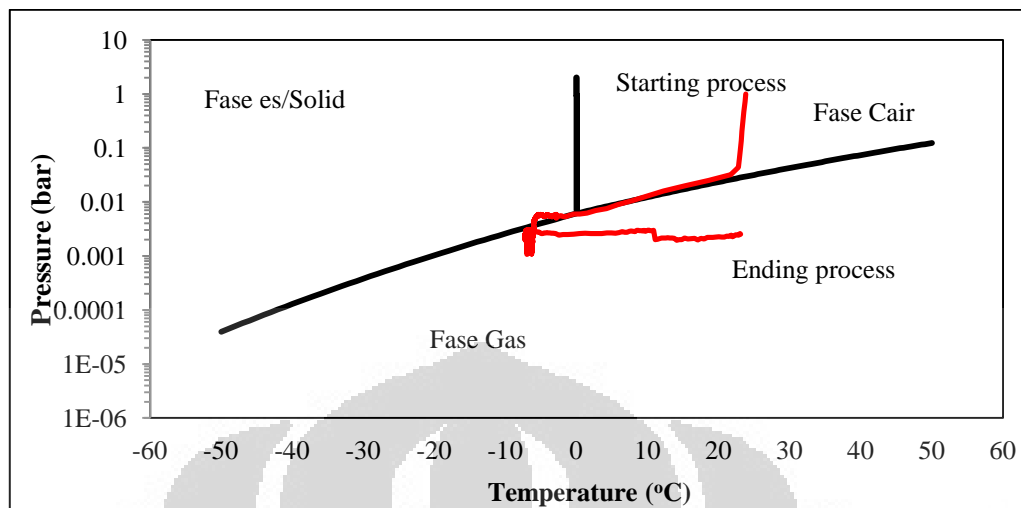
Pada proses pengeringan terjadi kombinasi laju pengeringan dan perubahan fase dari cairan menjadi padat dan dari padat menjadi gas. Pada percobaan kali ini untuk mendapatkan nilai *heat transfer coefficient* (K_v) pada setiap wadah material dilakukan beberapa variasi temperatur pemanas yaitu tanpa pemanas, 27°C , dan 32°C .

4.1.1 Grafik profil temperatur material dan perubahan fasa pada wadah material plastik.

1. Variasi tanpa pemanas



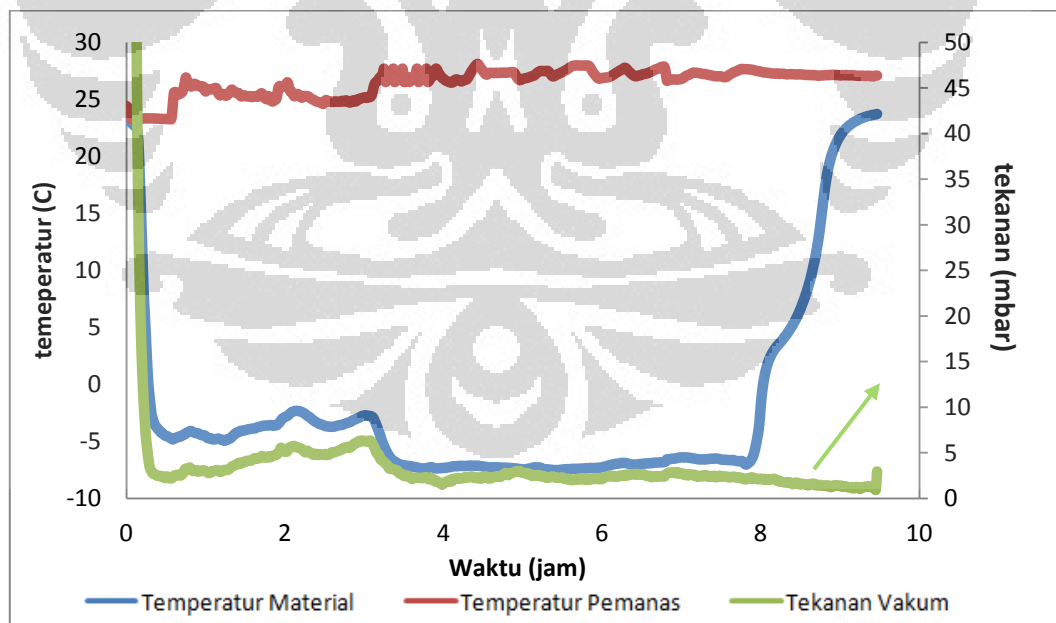
gambar 4. 1 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material plastik tanpa pemanas.



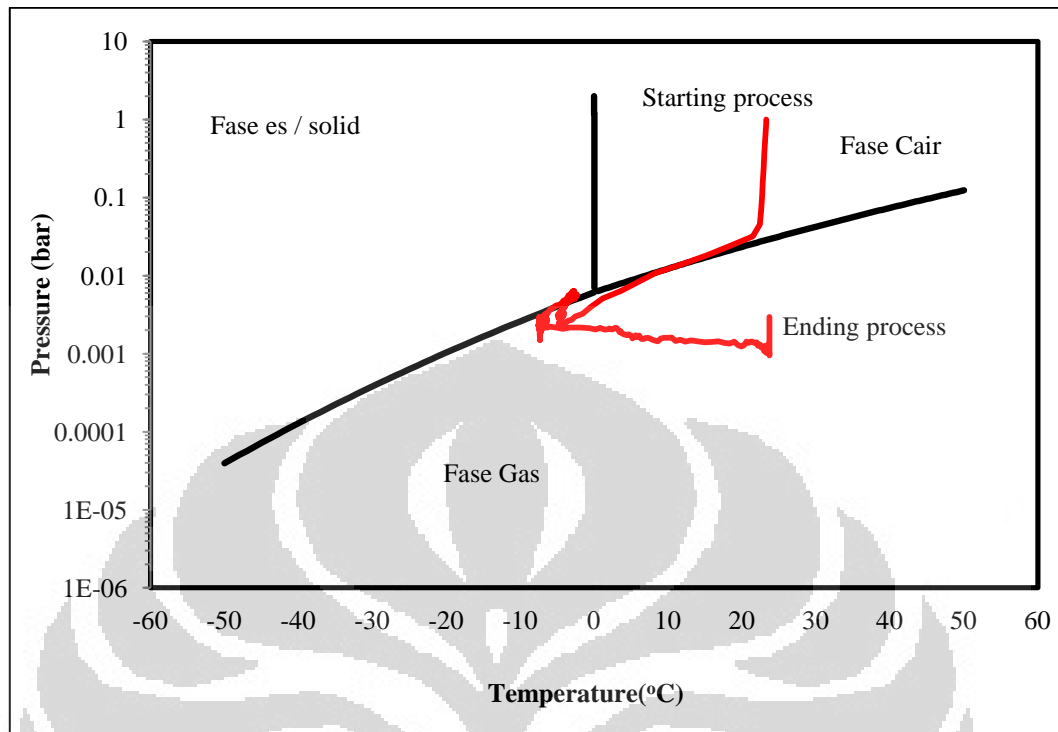
gambar 4. 2 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material plastic

2.2.5 Pada gambar 4.1 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material plastik tanpa pemanas dimana temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -5.4^{\circ}\text{C}$, terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke - 4, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut.

2. Variasi temperatur pemanas 27°C



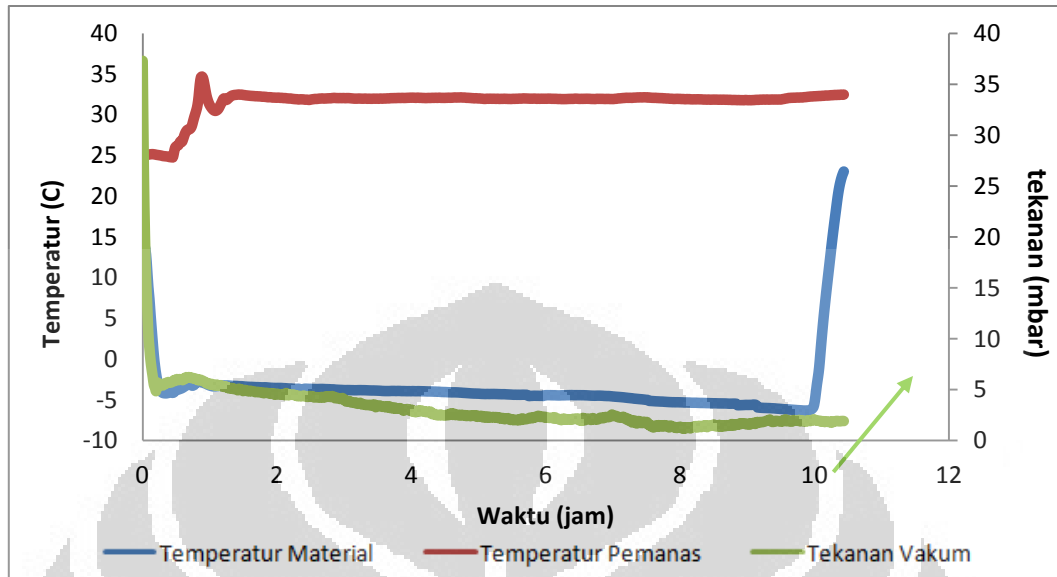
gambar 4. 3 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material plastik dengan pemanas 27°C



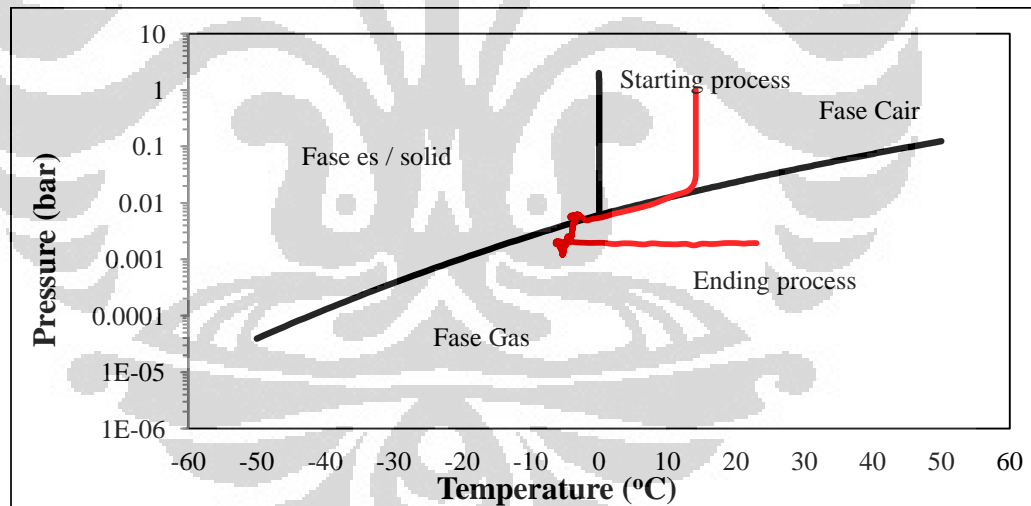
gambar 4. 4 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 27°C pada wadah material plastik

2.2.6 Pada gambar 4.3 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material plastik dengan temperatur pemanas 27°C dimana temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -6,04^{\circ}\text{C}$, terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke - 2, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut Terdapat fluktuasi pada pemanas buang kondenser yang di jaga pada temperatur $27^{\circ}\text{C} \pm -1^{\circ}\text{C}$, hal ini disebabkan oleh tingkat kesulitan menjaga total laju aliran massa yang dialirkan ke kondenser.

3. Variasi Temperatur pemanas 32°C



gambar 4. 5 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material plastik dengan pemanas 32°C

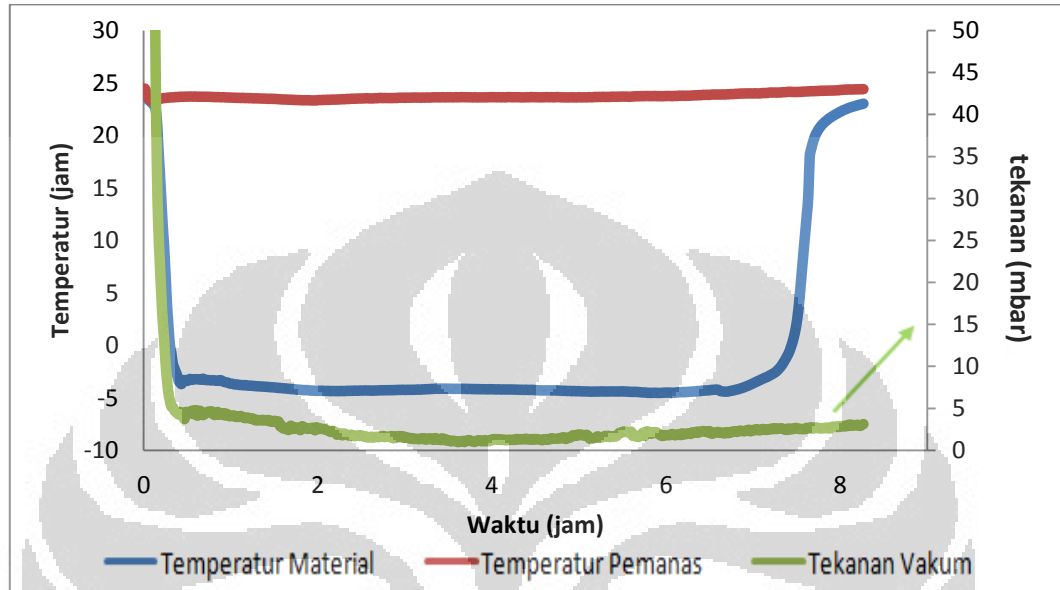


gambar 4. 6 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 32°C pada wadah material plastik

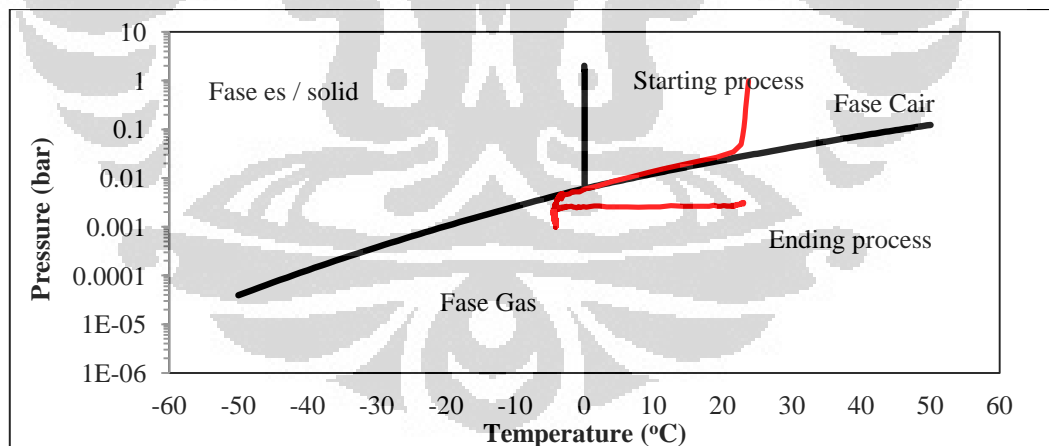
Pada gambar 4.3 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material plastik dengan temperatur pemanas 32°C, temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -4,4^{\circ}\text{C}$ dan terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke – 1, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut tepat ketika temperatur pemanas terjaga pada temperatur 32°C .

4.1.2 Grafik profil temperatur material dan perubahan fasa pada wadah material *Stainless Steel*.

1. Variasi tanpa pemanas



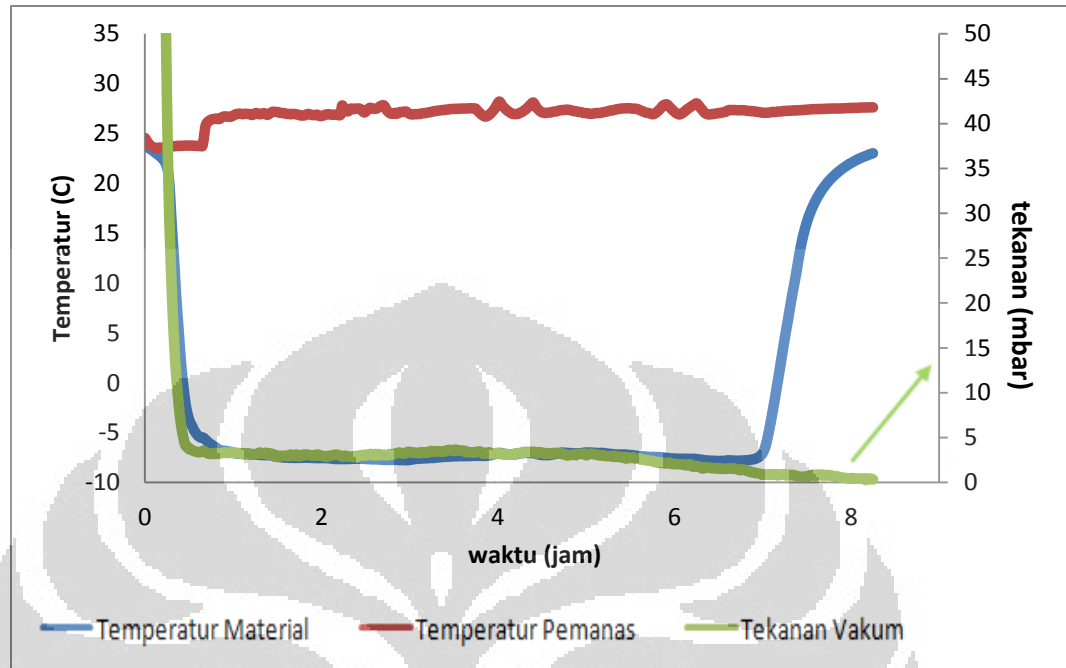
gambar 4. 7 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material *stainless steel* tanpa pemanas.



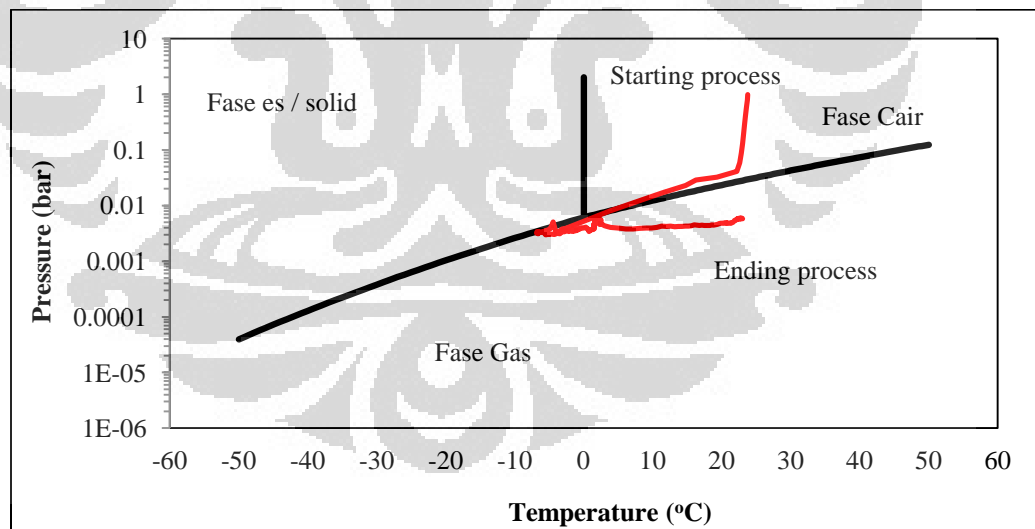
gambar 4. 8 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material *stainless steel*

Pada gambar 4.7 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material *stainless steel* tanpa pemanas dimana temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -4,1^{\circ}\text{C}$, terjadi turunnya tekanan pada jam ke - 4, ini membuktikan adanya titik sublimasi terkecil pada rentang waktu tersebut.

2. Variasi temperatur 27°C



gambar 4. 9 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material *stainless steel* dengan pemanas 27°C

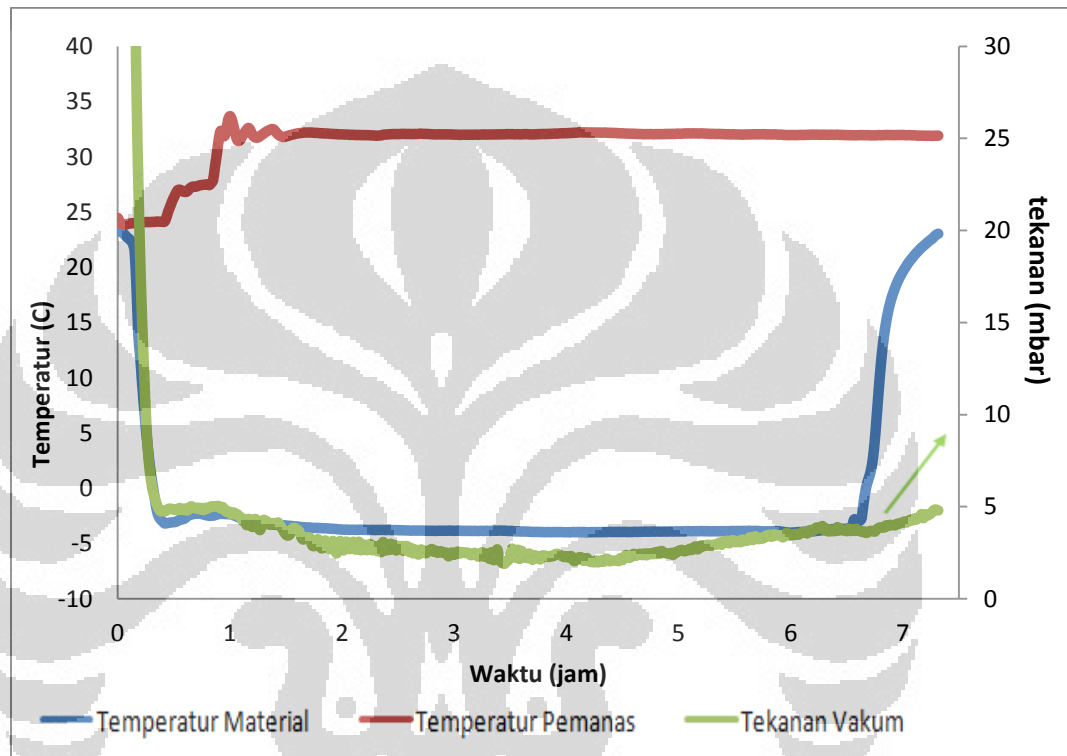


gambar 4. 10 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 27°C pada wadah material *stainless steel*

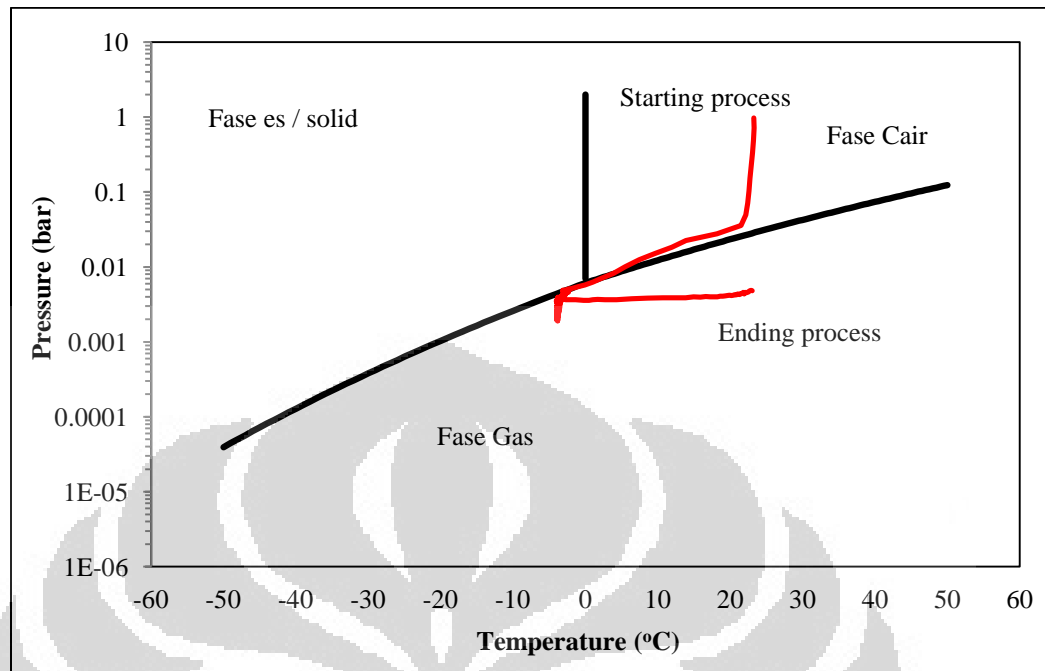
Pada gambar 4.9 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material *stainless steel* dengan temperatur pemanas 27°C

dimana temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -7,4^{\circ}\text{C}$, terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke - 4, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut Terdapat fluktuasi pada pemanas buang *condenser* yang di jaga pada temperatur $27^{\circ}\text{C} \pm -1^{\circ}\text{C}$.

3. Variasi temperatur 32°C



gambar 4. 11 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material *stainless steel* dengan pemanas 32°C

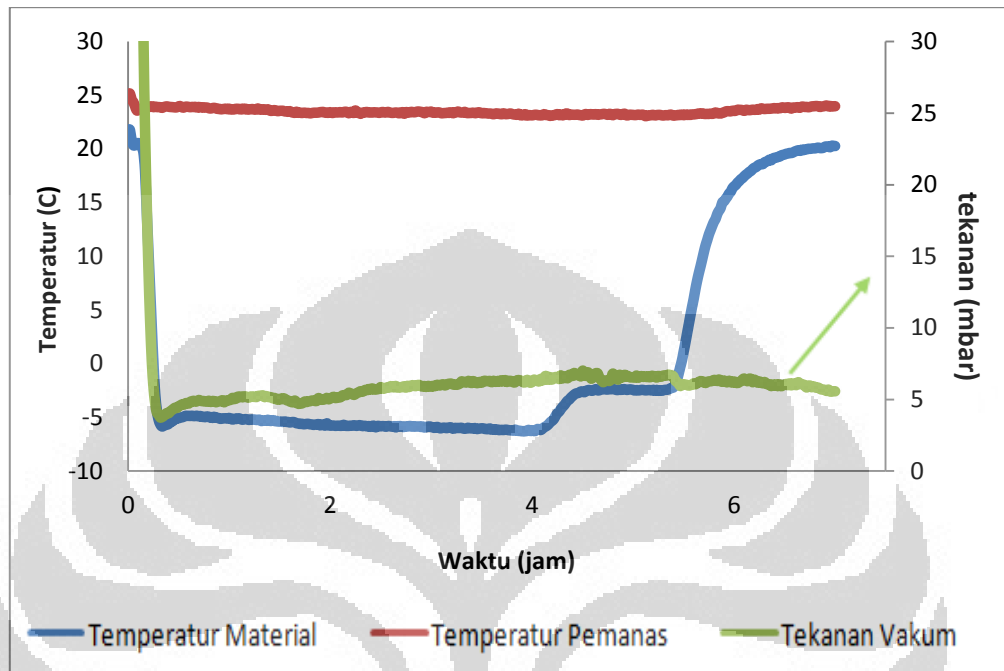


gambar 4. 12 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 32°C pada wadah material *stainless steel*

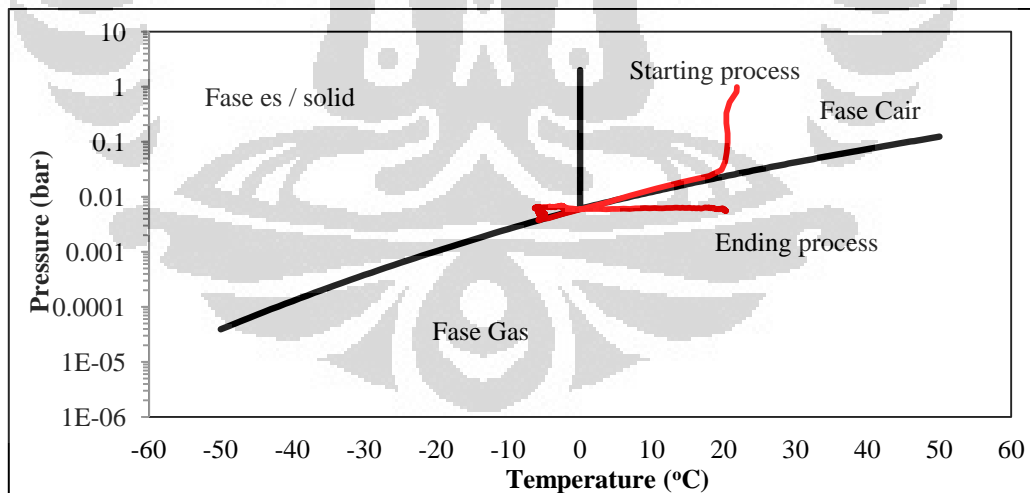
Pada gambar 4.11 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material *stainless steel* dengan temperatur pemanas 32°C, temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -3,7^{\circ}\text{C}$ dan tekanan menurun antara jam 3-4, ini membuktikan bahwa titik sublimasi terkecil pada jam tersebut.

4.1.2 Grafik perubahan fasa pada wadah material teflon.

1. Variasi tanpa pemanas



gambar 4. 13 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon tanpa pemanas

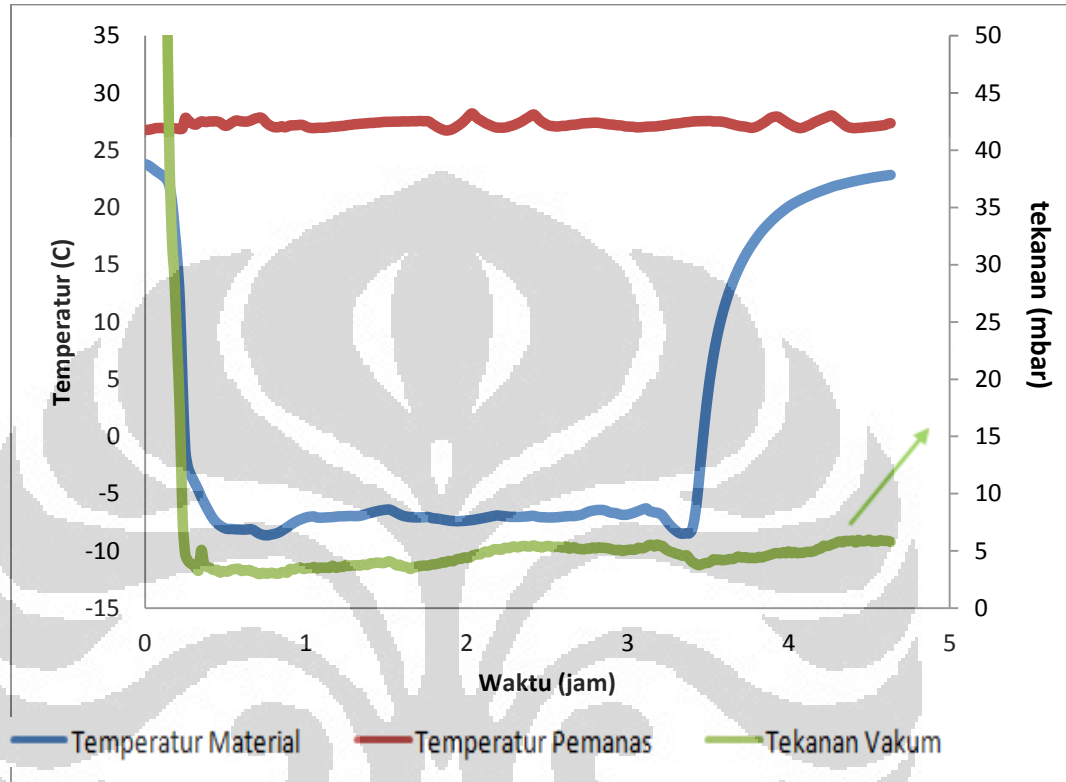


gambar 4. 14 perubahan fasa kondisi tanpa pemanas pada wadah material teflon

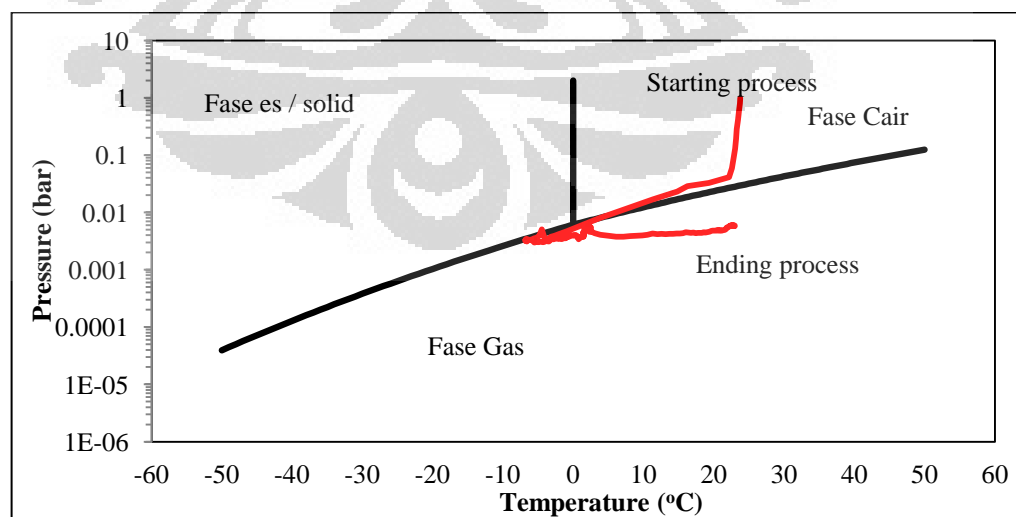
Pada gambar 4.13 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material teflon dengan temperatur pemanas 32°C,

temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -5^{\circ}\text{C}$ dan terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke-4, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut

2. Variasi temperatur 27°C



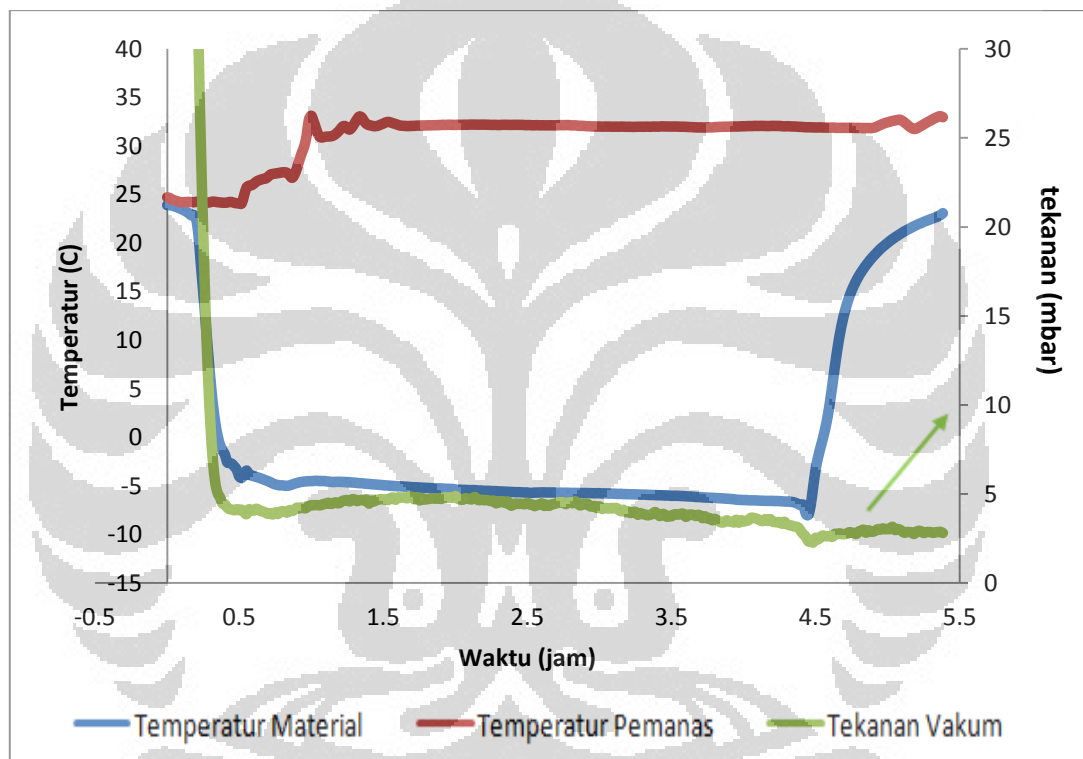
gambar 4. 15 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon dengan pemanas 27°C



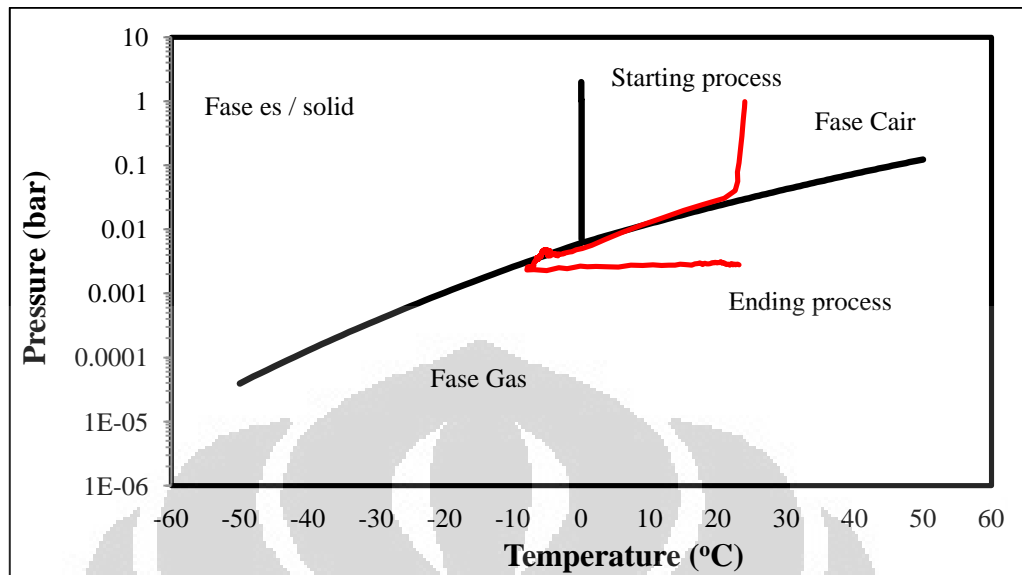
gambar 4. 16 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 27°C pada wadah material Teflon

Pada gambar 4.15 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material teflon dengan temperatur pemanas 27°C dimana temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -7,1^{\circ}\text{C}$, terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke-2 dan ke-3, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut Terdapat fluktuasi pada pemanas buang *condenser* yang di jaga pada temperatur $27^{\circ}\text{C} \pm -1^{\circ}\text{C}$.

3. Variasi temperatur 32°C



gambar 4. 17 profil temperatur material selama proses pengeringan pada wadah material teflon dengan pemanas 32°C



gambar 4. 18 perubahan fasa kondisi temperatur pemanas 32°C pada wadah material Teflon

Pada gambar 4.17 terlihat profil temperatur material selama proses pengeringan beku vakum pada wadah material teflon dengan temperatur pemanas 32°C, temperatur sublimasi terjadi pada $\pm -4,6^{\circ}\text{C}$ dan terjadi fluktuasi tekanan pada jam ke-2, ini membuktikan adanya titik sublimasi terbesar pada rentang waktu tersebut

Dari semua grafik diatas penulis dapat membuktikan proses pengeringan dari awal sampai akhir proses. Saat awal proses material masih dalam bentuk cairan kemudian dilakukan pevakuman atau penurunan tekanan didalam ruangan maka temperatur material semakin turun sampai terjadi perubahan fase dari cairan ke padat (*freezing/vacuum cooling*) saat kondisi tekanan dan temperatur saturasi tercapai terjadi perubahan fase dari padat ke gas dengan cara sublimasi (*primary drying*). Pada saat proses sublimasi telah selesai temperatur material akan perlahan naik hingga kondisi temperatur material sama dengan temperatur ruangan vakum (*secondary drying*). Pada akhir dari proses pengeringan Sisa dari material uji adalah padatan yang memiliki sifat - sifat yang berbeda dari air sehingga pada tekanan vakum tidak berubah *properties*-nya seperti air. Selama proses *vacuum freezing* penulis mendapatkan bahwa selalu terjadinya fenomena massa yang terevaporasi, jumlah massa yang terevaporasi pada setiap pengujian akan penulis analisa pada subbab selanjutnya.

4.2 Pengolahan Data dan Analisa

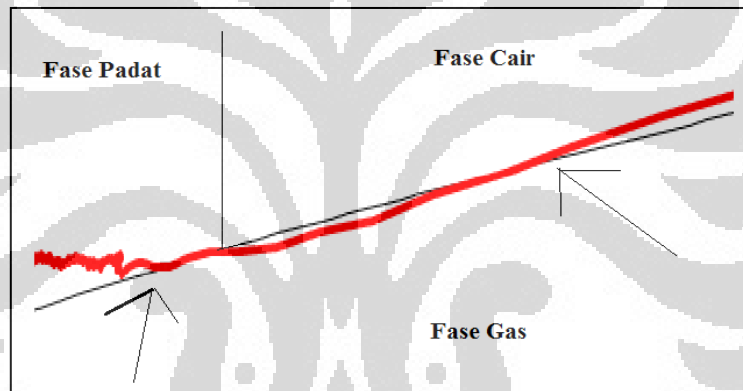
Setelah melaksanakan serangkaian pengujian dan pengkajian, penulis melakukan beberapa analisa antara lain:

4.2.1 Massa material yang terevaporasi

Besar material yang terevaporasi dapat dicari menggunakan persamaan (2.5) dan nilai kalor laten evaporasi (H_{fg}) dapat dicari dengan menggunakan *software* refprop atau *Engineering Equation Software* (EES), nilai titik temperatur pada grafik dapat dianalisa menggunakan *software Microsoft Office Excel* dan massa awal material adalah 0,05Kg

4.2.1.1 Massa yang terevaporasi pada wadah material plastik

1. Variasi tanpa pemanas

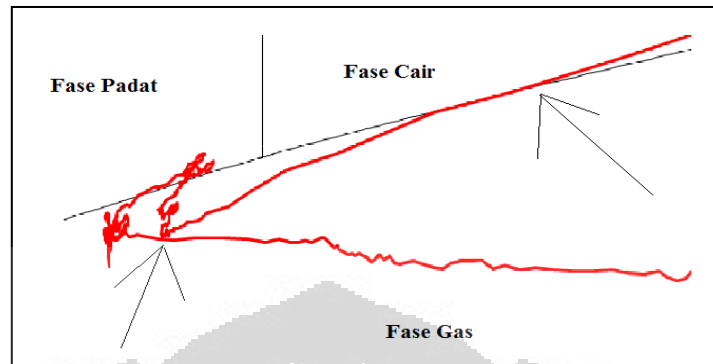


gambar 4. 19 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 1 jumlah massa material yang terevaporasi tanpa pemanas pada wadah material plastik

Temperatur Evaporasi	m- evaporasi (g)	menit ke-
7.87	0.171	14
5.88	0.145	15
4.19	0.128	16
2.70	0.105	17
1.48	0.089	18
0.44	0.068	19
Total	0.705	6 (menit)

2. Variasi temperatur pemanas 27°C



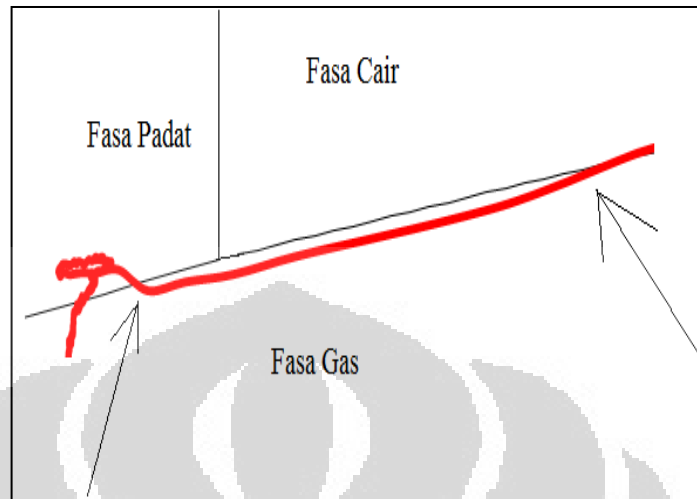
gambar 4. 20 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 2 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 27°C pada wadah material plastik

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	Menit ke-
8.25	0.201	13
5.91	0.202	14
3.56	0.208	15
1.14	0.143	16
-0.53	0.079	17
-1.58	0.080	18
-2.63	0.031	19
-3.05	0.029	20
-3.43	0.017	21
-3.65	0.010	22
-3.78	0.013	23
-3.95	0.007	24
-4.05	0.013	25
-4.22	0.002	26
-4.26	0.010	27
-4.39	0.007	28

-4.48	0.004	29
-4.53	0.002	30
-4.56	0.006	31
-4.64	0.004	32
-4.69	0.006	33
-4.77	0.005	34
-4.84	0.005	35
-4.79	0.004	36
-4.72	0.004	37
-4.70	0.002	38
-4.61	0.004	39
-4.60	0.006	40
-4.59	0.003	41
-4.50	0.001	42
-4.44	0.005	43
-4.42	0.010	44
-4.30	0.003	45
-4.23	0.002	46
-4.20	0.007	47
-4.11	0.001	48
-4.10	0.000	49
-4.17	0.001	50
-4.22	0.004	51
-4.28	0.002	52
-4.30	0.001	53
-4.30	0.007	54
-4.35	0.000	55
-4.43	0.000	56
Jumlah	1.149	44 menit

3. Variasi temperatur pemanas 32°C



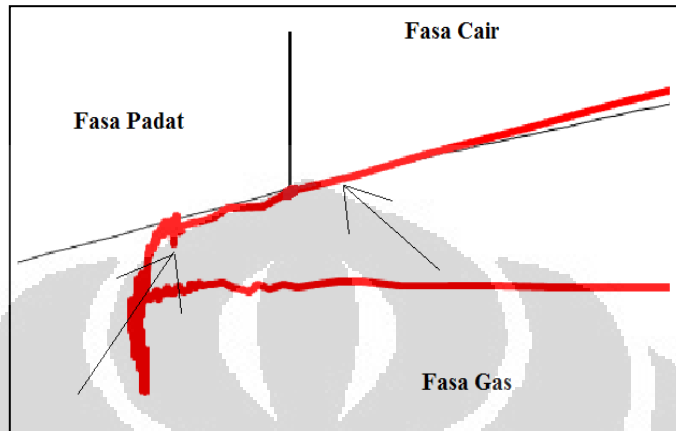
gambar 4. 21 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material plastik dengan pemanas 32°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 3 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 32°C pada wadah material plastik

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
10.94	0.17	4
8.92	0.13	5
7.40	0.17	6
5.47	0.15	7
3.71	0.15	8
1.99	0.14	9
0.38	0.11	10
Jumlah	1.015	7 (menit)

4.2.1.2 Massa yang terevaporasi pada wadah material *stainless steel*

1. Variasi tanpa pemanas

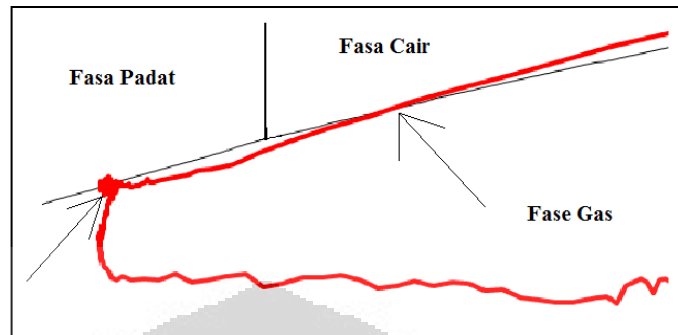


gambar 4. 22 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material *stainless steel* tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 4 jumlah massa material yang terevaporasi tanpa pemanas pada wadah material *stainless steel*

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
3.93	0.180	16
1.84	0.153	17
0.05	0.065	18
-0.72	0.077	19
-1.74	0.030	20
-2.14	0.028	21
-2.51	0.024	22
-2.84	0.040	23
-3.36	0.013	24
Jumlah	0.611	9 (menit)

2. Variasi temperatur pemanas 27°C



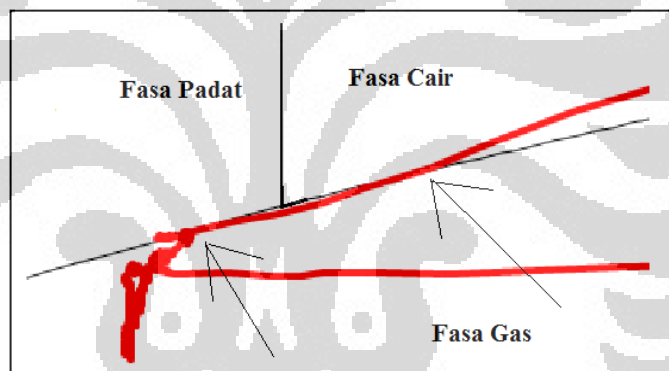
gambar 4. 23 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material *stainless steel* dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 5 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 27°C pada wadah material *stainless steel*

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
5.01	0.183	23
2.88	0.151	24
1.11	0.117	25
-0.26	0.093	26
-1.50	0.076	27
-2.51	0.050	28
-3.17	0.040	29
-3.70	0.028	30
-4.08	0.019	31
-4.33	0.025	32
-4.66	0.019	33
-4.91	0.015	34
-5.11	0.014	35
-5.30	0.008	36
-5.41	0.007	37
-5.51	0.004	38

-5.49	0.011	39
-5.55	0.010	40
-5.69	0.011	41
-5.82	0.010	42
-5.97	0.005	43
-6.09	0.010	44
-6.17	0.006	45
-6.30	0.006	46
-6.38	0.007	47
Jumlah	0.928	25 (menit)

3. Variasi temperatur pemanas 32°C



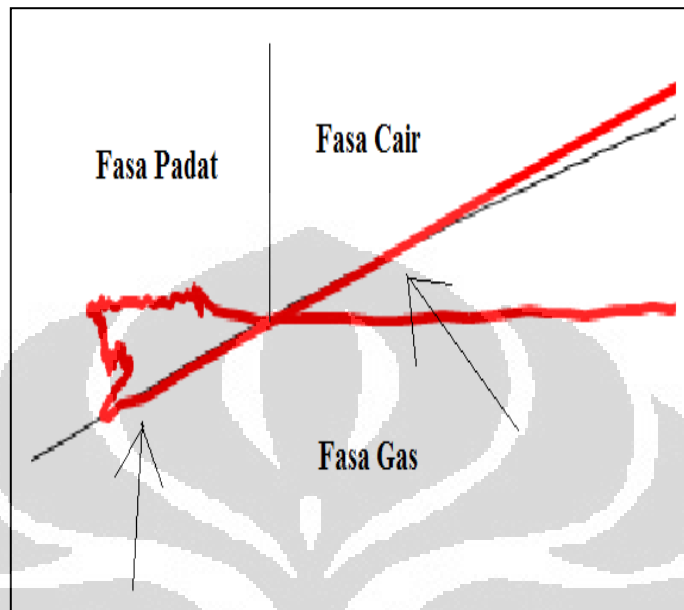
gambar 4. 24 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material *stainless steel* dengan pemanas 32°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 6 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 32°C pada wadah material *stainless steel*

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
2.22	1.012	17
1.04	0.096	18
-0.09	0.078	19
-1.12	0.072	20
-2.08	0.036	21
Jumlah	1.294	5 (menit)

4.2.1.3 Massa yang ter-evaporasi pada wadah material Teflon

1. Variasi tanpa pemanas

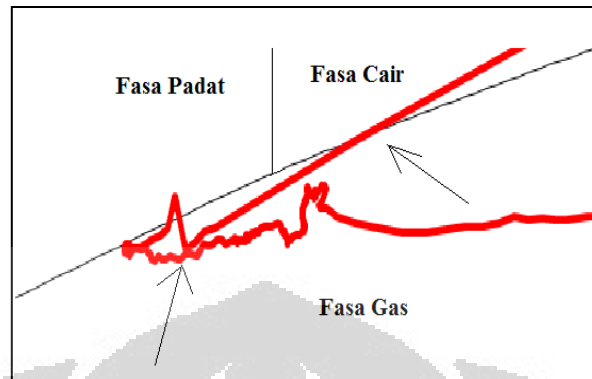


gambar 4. 25 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon tanpa pemanas pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 7 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi tanpa pemanas pada wadah material teflon

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
3.40	0.298	14
-0.08	0.204	15
-2.78	0.117	16
-4.34	0.064	17
Jumlah	0.684	4 (menit)

2. Variasi temperatur pemanas 27°C

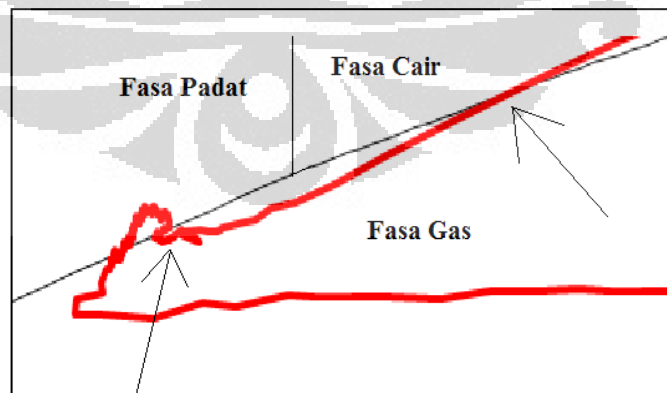


gambar 4. 26 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon dengan pemanas 27°C pada gambar grafik diagram fasa yang diperbesar

tabel 4. 8 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 27°C pada wadah material teflon

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
-0.93	0.083	15
-2.03	0.046	16
-2.64	0.038	17
-3.14	0.033	18
-3.57	0.033	19
Jumlah	0.231	5 (menit)

2. Variasi temperatur pemanas 32°C



gambar 4. 27 titik temperatur terjadinya evaporasi pada wadah material teflon dengan pemanas 32°C pada gambar grafik *tripel point* yang diperbesar

tabel 4. 9 jumlah massa material yang terevaporasi kondisi temperatur 32°C pada wadah material teflon

Temperatur Evaporasi	m-evaporasi (g)	menit ke-
5.92	0.211	18
3.46	0.166	19
1.53	0.119	20
0.14	0.078	21
-0.78	0.044	22
-1.36	0.030	23
-1.76	0.062	24
-2.58	0.006	25
-2.65	0.007	26
-2.75	0.021	27
-3.03	0.024	28
-3.35	0.052	29
-4.04	0.011	30
Jumlah	0.830	13 (menit)

tabel 4. 10 jumlah massa yang terevaporasi pada setiap wadah material dan pemanas

Wadah	Pemanas	Massa awal (g)	Massa yang terevaporasi (g)	Massa Setelah Evaporasi (g)	Waktu (Menit)
Plastik	23	50	0.705	49.295	6
	27	50	1.149	48.851	44
	32	50	1.015	48.985	7
Stainless Steel	23	50	0.611	49.389	9
	27	50	0.928	49.072	25
	32	50	1.294	48.706	5
Teflon	23	50	0.684	49.316	4
	27	50	0.231	49.769	5
	32	50	0.830	49.170	13

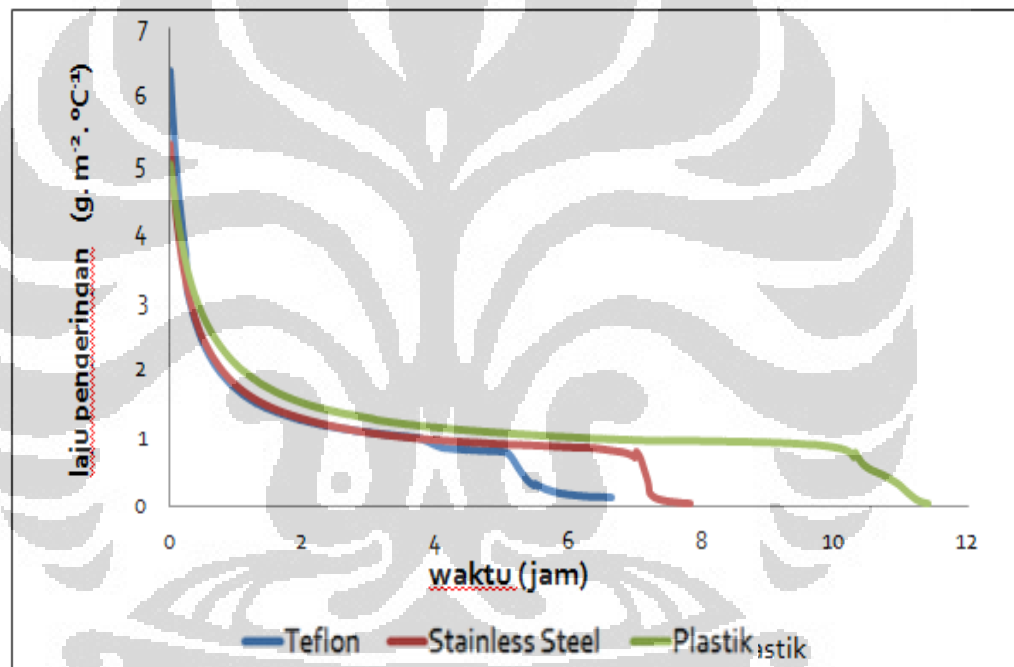
Dari table 4.10 diatas jumlah massa yang terevaporasi pada setiap pemanas tidak menghasilkan grafik yang linier. Jumlah massa yang terevaporasi tergantung kepada kecepatan pemvakuman serta besarnya panas yang diterima oleh material

selama proses pembekuan (*freezing*). Pada semua pengujian jumlah massa terevaporasi yang paling besar terjadi pada wadah material *stainless steel* yaitu sebesar 1,294g. Jumlah massa material setelah terevaporasi menjadi massa awal material pada saat awal menghitung besarnya laju pengeringan pada subbab selanjutnya.

4.2.2 Laju Pengeringan

Laju pengeringan karena konduksi dihitung menggunakan rumus (2.3) dengan q dicari menggunakan rumus (2.2). Ketebalan material (L) adalah 0,008m.

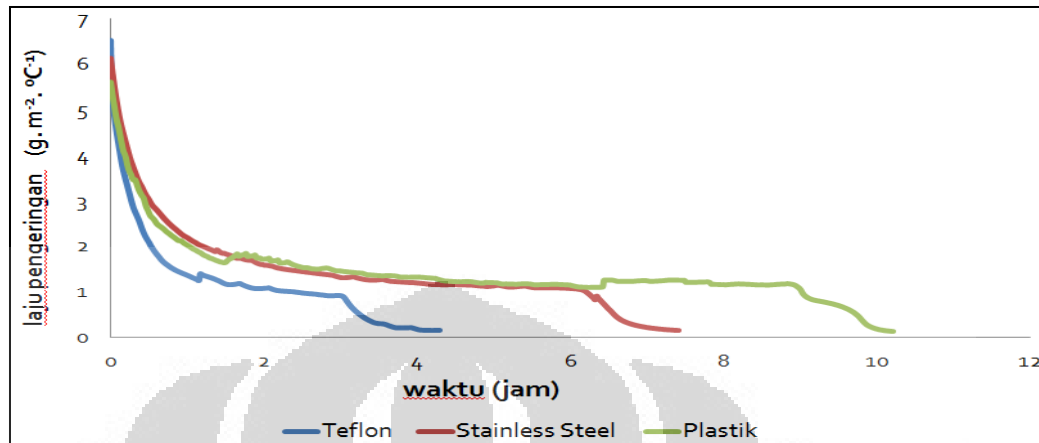
1. Laju Pengeringan Tanpa Pemanas



gambar 4. 28 laju pengeringan tanpa pemanas

Pada gambar 4.28 adalah laju pengeringan tanpa pemanas pada setiap wadah material, dimana material teflon memiliki laju pengeringan tercepat diikuti oleh *stainless steel*, lalu plastik. pada gambar tersebut terlihat grafik yang menurun ini diakibatkan karena semakin berkurangnya massa air yang terkandung pada aloevera. Saat terjadi desorpsi ditandai dengan terjadinya penurunan laju pengeringan material secara drastis pada setiap wadah.

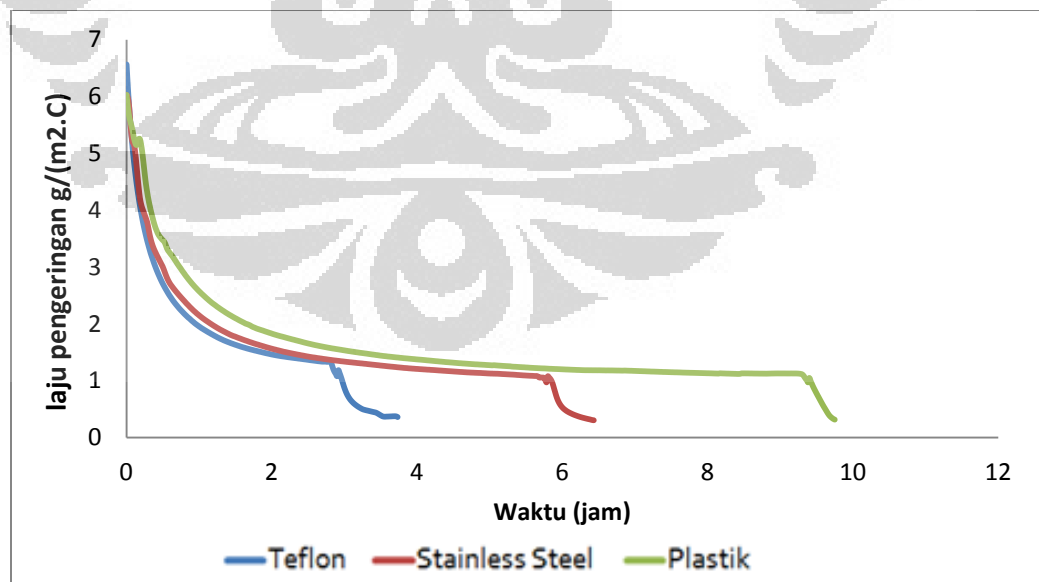
2. Laju Pengeringan dengan temperatur pemanas 27°C



gambar 4. 29 laju pengeringan dengan pemanas 27°C

Pada gambar 4.29 adalah laju pengeringan dengan pemanas 27°C pada setiap wadah material, dimana material teflon memiliki laju pengeringan tercepat diikuti oleh *stainless steel*, lalu plastik. pada gambar tersebut terlihat grafik yang menurun ini diakibatkan karena semakin berkurangnya massa air yang terkandung pada aloe vera. Saat terjadi desorpsi ditandai dengan terjadinya penurunan laju pengeringan material secara drastis pada setiap wadah.

3. Laju Pengeringan dengan temperatur pemanas 32°C



gambar 4. 30 laju pengeringan pada pemanas 32°C

Pada gambar 4.30 adalah laju pengeringan dengan pemanas 32⁰C pada setiap wadah material, dimana material teflon memiliki laju pengeringan tercepat diikuti oleh *stainless steel*, lalu plastik. pada gambar tersebut terlihat grafik yang menurun ini diakibatkan karena semakin berkurangnya massa air yang terkandung pada aloe vera. Saat terjadi desorpsi ditandai dengan terjadinya penurunan laju pengeringan material secara drastis pada setiap wadah.

Pada gambar 4.28 sampai dengan gambar 4.30 diatas memperlihatkan laju pengeringan tiap-tiap variasi, dilihat dari grafik diatas menunjukkan Laju pengeringan semakin menurun selama waktu pengeringan hal ini membuktikan bahwa kandungan air dalam material semakin menurun selama proses pengeringan yang terjadi pada saat sublimasi (*primary Drying*) dan saat desorpsi (*Secondary Drying*). Pada gambar 4.30 dimana wadah material Teflon dengan pemanas 32⁰C memiliki titik laju pengeringan terbesar yaitu 6,56 (g/m².⁰C)

tabel 4. 11 massa akhir material

Wadah Material	Pemanas (Celcius)	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)
Plastik	Tanpa Pemanas	49.29	0.4
	27	48.85	0.4
	32	48.98	0.5
<i>Stainless Steel</i>	Tanpa Pemanas	49.39	0.4
	27	49.07	0.4
	32	48.71	0.5
Teflon	Tanpa Pemanas	49.32	0.5
	27	49.77	0.6
	32	49.17	0.6

Dari tabel 4.11 diatas berat akhir material memiliki jumlah yang relatif sama. Berikut ini faktor-faktor yang menyebabkan berkurangnya besarnya massa material selain karena faktor sublimasi, pertama adalah adanya kemungkinan sejumlah material kering yang terhisap oleh pompa vakum karena bagian atas material tidak tertutup penuh untuk memberikan panas dari kondensor masuk ke material. Kedua

adalah kurang efektifnya pengumpulan material kering pada saat akhir pengujian seperti adanya jumlah material yang jatuh pada saat pengambilan material kering menyebabkan susahnya penghitungan massa total akhir pengujian secara sempurna, namun sebagian besar material kering bisa dikumpulkan.

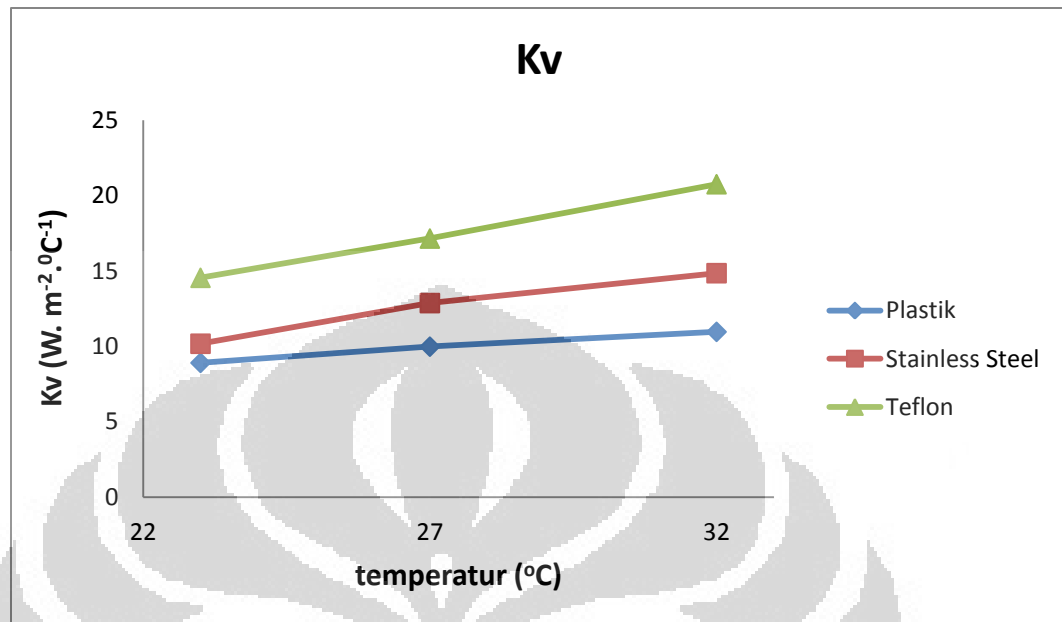
tabel 4. 12 total waktu sublimasi pada setiap variasi wadah material dan pemanas

Wadah Material	Pemanas	Total Waktu Sublimasi (jam)
Plastik	Tanpa Pemanas	11,83
	27°C	10,2
	32°C	9,47
Stainless Steel	Tanpa Pemanas	7,83
	27°C	7,4
	32°C	6,43
Teflon	Tanpa Pemanas	6,63
	27°C	4,28
	32°C	3,73

Pada tabel 4.12 dengan menggunakan pemanas akan menghasilkan waktu sublimasi yang lebih cepat karena besarnya laju pengeringan akan semakin besar, penggunaan wadah material dengan material teflon menghasilkan laju pengeringan paling besar dan waktu sublimasi dan desorpsi yang lebih cepat. Oleh karena itu penulis melakukan kajian besarnya koefisien perpindahan panas (*heat transfer coefficient*) yang terjadi pada setiap variasi wadah material dan temperatur pada subbab berikutnya.

4.2.3 Heat Transfer Coefficient (Kv)

Besarnya nilai *Heat Transfer Coefficient* (Kv) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.4). dan besarnya diameter wadah material 0,12m sehingga luas wadah material (A_v) adalah $0,011304\text{m}^2$. Nilai Kalor Laten Sublimasi (H_s) dapat dicari dengan menggunakan *software REFPROP* atau *Engineering Equation Software* (EES).



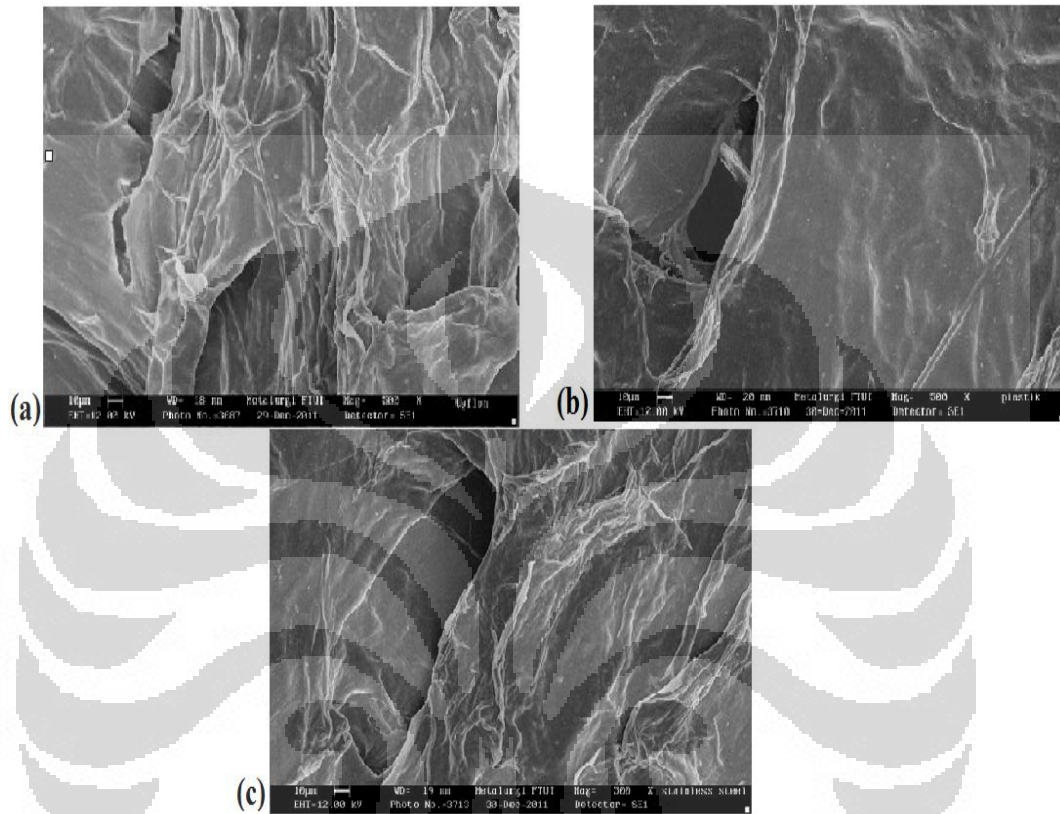
gambar 4. 31 grafik perbandingan Kv pada setiap wadah material dan tekanan vakum pada temperatur pemanas yang berbeda

Seperti terlihat pada gambar 4.31 diatas besar *heat transfer coefficient* (Kv) terbesar terdapat pada temperatur pemanas 32°C dengan wadah material teflon sebesar 20,75 W/(m².°C) kemudian *Stainless Steel* sebesar 14,85 W/(m².°C) dan terakhir plastik 10,96 W/(m².°C).

Dari gambar diatas bahwa material wadah material Teflon memiliki nilai Kv yang paling besar diantara dua wadah material yang lain ini membuktikan bahwa material wadah material Teflon lebih mampu menghantarkan panas ke material beku sehingga dengan menggunakan material wadah material Teflon mampu menghasilkan waktu sublimasi yang lebih cepat diantara wadah material yang lain. Untuk membuktikan kualitas material yang dikeringkan pada setiap material wadah material yang digunakan penulis melakukan uji *Scanning Electron Miscroscopy* (SEM) dan akan dibahas pada subbab selanjutnya.

4.2.4 Karakteristik Struktur Mikro Aloe vera Pada Setiap Wadah material

Pada subbab ini penulis akan membahas hasil pengeringan beku vakum pada variasi wadah material dengan cara mempelajari struktur mikro material tersebut yang dilakukan menggunakan bantuan alat *Scanning Electron Microscopy* (SEM).



gambar 4. 32 struktur mikro material menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada setiap wadah material (a) teflon, (b) plastik, (c) *stainless steel*

Gambar 4.32 diatas merupakan hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan pembesaran 500X. Dilihat dari hasil struktur lidah buaya yang menggunakan *Scanning Electron Microscopy* menunjukkan hasil yang baik karena lapisan antar serat pada lidah buaya tidak putus – putus atau sobek dan kandungan air yang terdapat pada lidah buaya semakin sedikit karena hasil pengeringannya bisa terlihat dengan jelas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dari data yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengeringan beku vakum akan selalu terdapat massa yang terevaporasi, dimana pada proses pembekuan material yang berfasa cair akan terlebih dahulu melalui fasa gas sebelum ke fasa padatan.
2. Besarnya nilai *Heat Transfer Coefficient* (K_v) dipengaruhi oleh wadah material dan temperatur pemanas, wadah material dengan bahan teflon menghasilkan nilai *Heat Transfer Coefficient* (K_v) tertinggi. Sehingga efek dari nilai K_v yang tinggi akan menghasilkan laju pengeringan tercepat.
3. Hasil dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada setiap wadah material tanpa pemanas dan pemanas 27°C tidak menunjukkan adanya perubahan dari struktur mikro aloevera.

5.2 Saran

Setelah dilakukan percobaan dari pengujian, maka untuk kemajuan dan perbaikan kedepannya penulis menyarankan untuk:

1. Perlu penambahan timbangan didalam ruang vakum untuk memudahkan pengurangan massa material selama proses sublimasi dan adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

1. George Wiliam Otjen. (2004)., *Freeze Drying second completely revised and extended edition.*, Wiley-VCH Gmbh & Co. KGaA
2. Holman J.P. (1991), *Perpindahan Kalor (edisi keenam)* (E.Jasjfi,Penerjemah). Jakarta: Erlangga
3. Yunus A Cengel & Michael A Boles (1994), *Thermodynamics an Engineering Approach (2nd ed)*, McGraw – Hill, Inc
4. Schneid Stefan Christian. (2009), *Investigation of Novel Process Analytical Technology (PAT) Tools for Use in Freeze – Drying Processes*

