



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISA PROSES PENGERINGAN BEKU VAKUM ALOE VERA DENGAN  
PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**VICTORIO FERNANDO L**

**0706198890**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
KEKHUSUSAN TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

Universitas Indonesia

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

### **ANALISA PROSES PENGERINGAN BEKU VAKUM ALOE VERA DENGAN PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSER**

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 skripsi 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.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan saudara **ROHMAN HIDAYAH (0706198814)**.

Nama : VICTORIO FERNANDO L

NPM : 0706198890

Tanda Tangan :

Tanggal : 30 Desember 2009

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : VICTORIO FERNANDO L  
NPM : 0706198890  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : **ANALISA PROSES PENGERINGAN  
BEKU VAKUM ALOE VERA DENGAN  
PEMANFAATAN PANAS BUANG  
KONDENSER**

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan 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 : Dr. -Ing. Ir. Nasruddin, M.Eng (.....)  
Penguji : Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid (.....)  
Penguji : Dr. Agus. Pamitran, M.Eng (.....)  
Penguji : Dr. Belyamin, Msc (.....)  
Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 30 Desember 2009

## UCAPAN TERIMA KASIH

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

1. Dr. –Ing, Ir. Nasruddin, M.Eng, atas segala waktu dan tenaga dalam memberikan bimbingan
2. Dr. Ir. Muhammad Idrus Alhamid, atas segala waktu, tenaga dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan
3. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungannya
4. Rohman Hidayah sebagai teman satu tim yang solid
5. Rekan-rekan dan sahabat yang telah membantu dan mendukung

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yesus Kristus berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 30 Desember 2008

Penulis

Universitas Indonesia

# HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

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

Nama : Victorio Fernando L  
NPM : 0706198890  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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 :

## **ANALISA PROSES PENGERINGAN BEKU VAKUM ALOE VERA DENGAN PEMANFAATAN PANAS BUANG KONDENSER**

beserta 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 : 30 Desember 2008

Yang menyatakan

( Victorio Fernando L )

Universitas Indonesia

Name : Victorio Fernando L  
NPM : 0706198890  
Title : Analysis of Vacuum Freeze Drying Process Aloe Vera Using  
Condenser Waste Heat Utilization

## ABSTRACT

*Aloe Vera has a high nutritional content. Indonesia as an agricultural country exporting raw aloe vera abroad, while simultaneously importing aloe vera powder to the needs of medical, pharmaceutical, etc. For that danlain kiln needed to avoid another aloe vera powder imported from abroad. Then created a freeze drying equipment. Of the many methods of drying the freeze drying method chosen for freeze drying is the best method known but highly energy intensive due to two things namely the freezing process at different pressures with heat drying and slow propagation during sublimation. In the process of freeze drying, the steps taken is freezing, drying the pressure drop and / sublimation. With the vacuum freezing method, freezing and pressure drop simultaneously performed. Decrease the pressure until the sample is kept frozen. Pressure continues down to 0.1 mbar the product temperature reaches temperature of -40 ° C. Thus, if the previous use of energy and energy freezing vacuum separately, when applied to the freezing vacuum energy is the energy consumption vacuum. Propagation of heat occurs during the sublimation heat slowly dirambatkan caused by a dry layer of low coefficient conductivity. With heating from below, the propagation of heat conducted through the frozen layer conductivity value much higher. In addition, the heat for sublimation which previously supplied from the heater, the heat test is used with condenser waste heat memanfaatkan. From the test results on the moisture content of aloe vera can be dried with a presentation 98% of the total water content of aloe vera.*

**Key word** : Freeze Drying, vacuum, aloe vera, sublimation, condenser heat utilization.

Nama : Victorio Fernando L  
NPM : 0706198890  
Judul Skripsi : Analisa Proses Pengeringan Beku Vakum Aloe Vera Dengan Pemanfaatan Panas Buang Kondenser.

## ABSTRAK

*Aloe Vera memiliki kandungan nutrisi yang tinggi. Indonesia sebagai negara pertanian mengekspor aloe vera mentah ke luar negeri, disaat yang bersamaan mengimpor serbuk aloe vera untuk kebutuhan medis, farmasi, dan lain sebagainya. Untuk itu diperlukan alat pengeringan agar tidak perlu lagi mengimpor serbuk aloe vera dari luar negeri. Maka dibuat suatu alat pengeringan beku. Dari sekian banyak metode pengeringan maka dipilih metode pengeringan beku karena pengeringan beku diketahui merupakan metode terbaik tetapi sangat intensif energi disebabkan dua hal yaitu proses pembekuan pada tekanan yang berbeda dengan pengeringan dan perambatan panas yang lambat selama sublimasi. Pada proses pengeringan beku, tahapan yang dilakukan adalah pembekuan, penurunan tekanan dan pengeringan/sublimasi. Dengan metode pembekuan vakum, pembekuan dan penurunan tekanan dilakukan secara bersamaan. Penurunan tekanan dilakukan terus sampai sampel membeku. Tekanan terus diturunkan sampai 0.1 mbar maka temperatur produk akan mencapai suhu  $-40^{\circ}\text{C}$ . Dengan demikian jika sebelumnya digunakan energi pembekuan dan energi pemvakuman secara terpisah, ketika diterapkan pembekuan vakum pemakaian energinya hanyalah energi pemvakuman. Perambatan panas selama sublimasi terjadi secara lambat disebabkan panas dirambatkan melalui lapisan kering yang koefisien konduktivitasnya rendah. Dengan pemanasan dari bawah, perambatan panas dilakukan melalui lapisan beku yang nilai konduktivitasnya jauh lebih tinggi. Selain itu, panas untuk sublimasi yang sebelumnya diberikan dari pemanas, pada pengujian panas yang digunakan dengan memanfaatkan panas buang kondenser. Dari hasil pengujian kandungan air pada aloe vera dapat dikeringkan dengan presentasi 98% dari total kandungan air aloe vera.*

**Kata Kunci :** *Pengeringan beku, vakum, pembekuan, sublimasi, pemanfaatan panas kondenser.*

# DAFTAR ISI

	Hal
<b>Judul.....</b>	<b>i</b>
<b>Pernyataan Keaslian Skripsi.....</b>	<b>ii</b>
<b>Hal Pengesahan.....</b>	<b>iii</b>
<b>Ucapan Terima Kasih.....</b>	<b>iv</b>
<b>Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi.....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>vi</b>
<b>Daftar Isi.....</b>	<b>viii</b>
<b>Daftar Simbol.....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Gambar.....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xvi</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Perumusan Masalah.....	2
I.3 Tujuan Penulisan .....	2
I.4 Pembatasan Masalah .....	3
I.5 Metode Penulisan .....	3
I.6 Sistematika Penulisan.....	4
 <b>BAB II DASAR TEORI</b>	
II.1 Pendahuluan .....	5
II.1.1 Definisi Pengeringan Beku .....	6
II.2 Prinsip Dasar Pengeringan Beku.....	10



II.2.1	Komponen-komponen Utama Pengeringan Beku Pemvakuman .....	11
II.2.2	Proses Pengering Beku Yang Ideal .....	13
II.2.2.1	Pembekuan .....	13
II.2.2.1.1	Jumlah Panas, Konduktivitas Panas, Perpindahan Panas Dan Laju Pendinginan.....	14
II.2.2.2	Pengeringan.....	19
II.2.2.2.1	Sublimasi (Pengeringan Tingkat 1).....	19
II.2.2.2.2	Desorpsi.....	22
II.2.2.2.3	Pengukuran Temperatur Dan Tekanan.....	24
II.2.3	Sistem Refrigerasi .....	26
II.2.3.1	Siklus Ideal Sistem Refrigerasi .....	26
II.2.3.2	komponen-komponen Sistem Refrigerasi .....	29

### **BAB III METODE PENELITIAN**

III.1	Garis Besar Pengujian.....	40
III.1.1	Parameter-parameter Yang Ditentukan .....	40
III.1.2	Komponen-komponen Alat Pengujian.....	41
III.2	Deskripsi Alat .....	41
III.2.1	Pompa Vakum.....	43
III.2.2	Tabung Vakum .....	44
III.2.3	Termokopel.....	44
III.2.4	Testing Manifold.....	45
III.2.5	Vacuum Gauge .....	46
III.2.6	Timbangan Digital .....	46
III.2.7	RH Meter .....	47
III.2.8	Pressure Transmitter .....	48
III.2.9	National Instrument (NI) .....	48
III.2.10	Power Supply.....	49
III.3	Metodologi Pengujian ... ..	51

III.3.1 Lokasi Pengujian.....	51
III.3.2 Susunan Alat .....	51
III.3.3 Benda Uji .....	52
III.3.4 Persiapan Sebelum Pengujian .....	52
III.3.5 Pengujian .....	53
III.3.6 Kondisi Pengujian.....	55
III.3.6 Hasil Pengujian .....	55
III.4 Diagram Alir Pengujian .....	56

## **BAB IV ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA**

IV.I Analisa Dan Pengolahan Data.....	57
IV.2 Pengolahan Data .....	57
IV.2.1 Pengaruh Pemvakuman Terhadap Tekanan Didalam Tabung .....	61
IV.2.2 Pengaruh Ketebalan Produk Terhadap Waktu.....	62
IV.2.3 Pengaruh Tekanan Pemvakuman Terhadap Turunnya Nilai RH .....	62
IV.2.4 Pengaruh Kinerja Cold Trap Yang Kurang Memadai .....	63

## **BAB V KESIMPULAN**

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR SIMBOL

$Q_{tot}$	Kalor total
$c_w$	Kapasitas panas spesifik air
$Q_e$	Panas pencairan es
$c_e$	Kapasitas panas spesifik es
$T_0$	Temperatur pembekuan es
$T_1$	Temperatur awal air
$T_2$	Temperatur akhir es
$x_w$	Bagian air pada saat temperatur diatas $0^{\circ}\text{C}$
$c_f$	Panas spesifik padatan bahan
$x_f$	Bagian padatan
$x_w$	Bagian es yaitu bagian yang membeku saat temperatur mencapai $T_2$
$t_e$	Waktu pembekuan
$\Delta J$	Perbedaan entalpi antara proses pembekuan awal dengan temperatur akhir
$\Delta T$	Perbedaan temperatur antara titik beku dengan media pendingin
$dK$	Ketebalan produk diukur sejajar dengan arah laju perpindahan kalor
$\rho g$	Berat jenis produk yang telah membeku
$\lambda_g$	Konduktifitas termal produk yang telah membeku

$K_{su}$	Koefisien perpindahan kalor permukaan antara media pendingin dengan daerah pembekuan
$\rho_g$	Densitas produk yang membeku ( $\text{Kg/m}^3$ )
$\xi_w$	Bagian air ( $\text{kg/kg}$ )
LS	Energi Sublimasi ( $2805 \text{ kJ/kg}$ )
$T_{tot}$	Beda Temperatur ( $T_{tot} = T_{shelf} - T_{ice}$ )
$K_{tot}$	Koefisien perpindahan panas total dari rak wadah hingga permukaan es yang akan mengalami sublimasi
$\lambda_g$	Konduktifitas panas dari produk beku
d	Ketebalan produk keseluruhan (m)
$\Delta m$	Kandungan air yang membeku
$b/\mu$	Permeabilitas atau koefisien perpindahan massa ( $\text{kg/m h mbar}$ )

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram fase dari air.....	7
Gambar 2.2. Perubahan Fase Air.....	8
Gambar 2.3. Model Fisik Pengeringan Dengan Pemanas Atas Dan Bawah.....	10
Gambar 2.4. <i>Freeze Vacuum Drying</i> .....	12
Gambar 2.5. Pertumbuhan kristal es dalam air, dimulai dari yang paling kiri.....	16
Gambar 2.6. Temperatur selama pembekuan adalah fungsi dari waktu. 1. Temperatur rak ; 2. Temperatur produk.....	17
Gambar 2.7. Diagram teoritis temperatur rendah yang berpengaruh terhadap pembentukan struktur es.....	18
Gambar 2.8. Proses Main Drying diambil dengan cryomicroscope.....	21
Gambar 2.9. Distribusi temperatur selama pembekuan dan sublimasi.....	22
Gambar 2.10. Laju pengeringan desorpsi terhadap waktu.....	24
Gambar 2.11. Needle valve sebagai pengatur panas buang kondensor didalam tabung vakum.....	26
Gambar 2.12. Siklus Refrigerasi.....	27
Gambar 2.13. Refrigeration Unit.....	29
Gambar 2.14. Kompresor.....	30
Gambar 2.15. Kondenser.....	31

Gambar 2.16. Katup Ekspansi.....	32
Gambar 2.17. Orifice.....	33
Gambar 2.18. Evaporator sebagai Cold Trap.....	33
Gambar 2.19. Oil Separator.....	35
Gambar 2.20. Filter Dryer.....	36
Gambar 2.21. Accumulator.....	37
Gambar 2.22. Sight Glass.....	37
Gambar 2.23. Shutt/off Valve.....	38
Gambar 2.24. Check Valve.....	39
Gambar 2.25. Pressure Gauge.....	39
Gambar 3.1 Tampilan LabVIEW.....	42
Gambar 3.2. Vacuum Pump.....	43
Gambar 3.3. Tabung Vakum.....	44
Gambar 3.4. Termokopel tipe K.....	45
Gambar 3.5. Testing Manifold.....	45
Gambar 3.6. Vacuum gauge.....	46
Gambar 3.7. Timbangan Digital.....	46
Gambar 3.8. RH Meter.....	47
Gambar 3.9. Pressure Transmitter.....	48
Gambar 3.10. National Instrument.....	49
Gambar 3.11. Power Supply.....	50

Gambar 3.12. Produk Aloe Vera.....	52
Gambar 3.13. Rangkaian komponen freeze vacuum drying.....	54
Gambar 4.1. Grafik perubahan massa lidah buaya yang diblender sebelum dan sesudah pengujian.....	58
Gambar 4.2. Grafik perubahan massa lidah buaya yang dipotong dadu sebelum dan sesudah pengujian.....	59
Gambar 4.3. Grafik perubahan kandungan komposisi lidah buaya yang diblender setelah pengeringan.....	60
Gambar 4.4. Grafik perubahan kandungan komposisi lidah buaya yang dipotong setelah pengeringan.....	60
Gambar 4.5. Hasil pengeringan (aloe vera).....	61
Gambar 4.6. Grafik Tekanan Chamber Vs Waktu.....	61
Gambar 4.7. Grafik Waktu Vs Temperatur Produk Dengan Ketebalan 1 mm dan 5 mm.....	62
Gambar 4.8. Tekanan Tabung Vakum vs RH (%).....	63
Gambar 4.9. Distribusi Temperatur.....	64

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data massa lidah buaya sebelum dan sesudah pengujian.....	57
Tabel 4.2. Data kandungan lidah buaya sebelum dan sesudah pengujian.....	58

## BAB I PENDAHULUAN

### I.1 Latar Belakang.

Negara Indonesia memiliki keunggulan di bidang pertanian dan perkebunan, dimana negeri ini secara umum memiliki tanah yang subur sehingga banyak dapat memberikan hasil berupa berbagai tanaman pangan. Untuk meningkatkan nilai jual dari hasil-hasil pertanian dan perkebunan tersebut, salah satu upaya yang biasa ditempuh adalah dengan memberikan pemrosesan lebih lanjut terhadap hasil pertanian atau perkebunan. Dan diantara sekian banyak proses tersebut, salah satu proses yang populer adalah pengeringan.

Teknik pengeringan banyak dipakai untuk mengawetkan hasil pertanian dan perkebunan, atau dapat juga digunakan sebagai tahapan proses pembuatan jenis makanan tertentu selain lidah buaya, seperti pengeringan darah. Metode pengeringan menjadi penting untuk diperhatikan agar mendapatkan hasil pengeringan yang baik. Terlebih lagi pada masa sekarang, dimana bahan pangan semakin banyak jenisnya. Dan dari sekian banyak itu, banyak pula yang menggunakan teknologi pengeringan dalam pembuatannya. Bahan-bahan pangan ini juga merupakan komoditi yang besar nilai transaksinya, sehingga diminati oleh para pengusaha sebagai lahan garapan.



Sebagai salah satu bagian dari proses pembuatan bahan pangan, pengeringan juga perlu ditinjau dari sisi ekonomi, sebagai senjata untuk meningkatkan daya saing.

Para ahli telah menemukan beberapa teknik pengeringan selain dengan cara menjemur bahan dibawah 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 didarat tinggi yang tekanan udaranya lebih rendah dibandingkan tekanan udara didarat rendah, air lebih mudah menguap. Berdasarkan fenomena ini kita dapat menyatakan bahwa proses pengeringan juga akan lebih mudah terjadi pada tekanan rendah.

Alasan lainnya negara Indonesia khususnya propinsi Kalimantan Barat dikenal sebagai penghasil lidah buaya, lidah buaya ini sangat bermanfaat bagi tubuh karena memiliki kandungan nutrisi yang banyak salah satu fungsinya sebagai antioksidan yang dapat meningkatkan metabolisme tubuh. Lidah buaya ini diekspor negara luar sebagai bahan mentah akan tetapi Indonesia mengimpor serbuk lidah buaya dari luar negeri, bila kita dapat membuat alat pengering lidah buaya didalam negeri maka kita dapat menghemat ongkos produksi lidah buaya, memang awalnya biaya yang dibutuhkan cukup tinggi karena harga bahan baku pembuatan alat *freeze vacuum drying* yang tinggi akan tetapi ditinjau dari keuntungan jangka panjang maka pembuatan alat ini menguntungkan.

Untuk permasalahan pengeringan diatas yaitu pengeringan lebih mudah jika terjadi pada tekanan yang rendah, maka tugas akhir ini bertujuan untuk membuat alat pengering serta analisa proses pengeringan dari alat pengering beku dengan proses pemvakuman (*freeze vacuum drying*).

## **I.2 Perumusan Masalah**

Perlu adanya pembuktian dan analisa tentang fenomena yang terjadi pada proses pengeringan dengan pemvakuman beku (*freeze vacuum drying*) meliputi penurunan kelembaban, laju pengeringan, pengaruh ketebalan produk terhadap laju pengeringan serta fenomena laju pembekuan.

## **I.3 Tujuan Penulisan**

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Memenuhi kebutuhan dalam negeri dalam mengolah lidah buaya untuk menghasilkan serbuk lidah buaya menjadi bahan produk yang bermanfaat.
2. Merancang bangun prototipe mesin pengering beku dengan penerapan pembekuan lempeng sentuh, pembekuan vakum, dan pemanfaatan pemanasan dengan menggunakan panas terbuang kondenser untuk meningkatkan efisiensi.
3. Mempelajari proses pengeringan beku AloeVera dengan menggunakan pengering beku yang dirancang.

## **I.4 Pembatasan Masalah**

Pembahasan mengenai perancangan mesin pengering beku vakum dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membahas mengenai perancangan alat pengering beku dari langkah awal dalam segi desain dan manufaktur komponen tersebut.
2. Membahas tentang kondisi komponen mesin pengering beku dari segi visual dan data hasil pengujian
3. Membahas proses pengujian pengeringan beku.

## **I.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, konveksi, 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.

## **I.6 Sistematika Penulisan**

Penulisan ini dibagi menjadi lima bab dengan sistematika sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Menjelaskan mengenai latar belakang, pokok permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metode penulisan dan sistematika penulisan.

### **BAB II DASAR TEORI**

Menjelaskan secara umum pengertian pengeringan beku (*freeze drying*), keuntungan serta kerugian pengeringan beku, proses pengeringan beku yang ideal, kadar air keseimbangan, laju pengeringan, jenis-jenis pengeringan beku, karakteristik udara dan psikometri, cara kerja pengeringan beku dengan pemvakuman.

### **BAB III PENGUJIAN**

Menjelaskan mengenai rangkain alat, skema alat, prosedur pengujian, hasil pengujian, dan bagan alur pengujian.

#### BAB IV PENGOLAHAN DATA DAN ANALISA

Mengolah dan menganalisa data yang telah diperoleh.

#### BAB V KESIMPULAN

LAMPIRAN Berisikan data pengujian dan pengolahan, tabel dan grafik pendukung.



## **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 contohnya antara lain teori pembekuan digunakan untuk perhitungan dan analisa, dan beberapa dasar teori yang lain, contohnya seperti teori vakum digunakan untuk analisa pengujian saja, selengkapnya dibahas dibawah ini.

#### **II.1 Pendahuluan**

Pengeringan (*drying*), secara bahasa dapat diartikan memindahkan atau mengambil kandungan suatu zat cair dari benda padatnya, zat cair yang biasa kita pindahkan dari zat padat adalah air. Sedangkan zat padatnya bisa bermacam-macam, contohnya saat kita selesai mencuci baju maka kita hendak melakukan proses pengeringan pada baju kita, maka yang bertindak sebagai zat padat adalah kain baju kita, sedangkan yang menjadi zat cairnya adalah air yang berada dalam baju tersebut.

Metode yang dikembangkan untuk pengeringan ini amat beraneka ragam, dengan berbagai karakteristiknya. Keragaman karakteristik ini mencakup ukuran bahan yang dapat dikeringkan, waktu pengeringan, biaya, tekanan saat operasi, panas yang dapat dipindahkan dan karakteristik lainnya. Mujumdar dan Devahastin dalam bukunya mengatakan bahwa tidak ada satu prosedur perancangan khusus yang mungkin diterapkan untuk seluruh atau beberapa jenis mesin pengering sekalipun. Karena itu saat mencoba untuk merancang mesin pengering atau menganalisa mesin pengering perlu mengacu kembali pada dasar-dasar pindah panas, massa serta proses

thermodinamika yang dikaitkan dengan pengetahuan tentang sifat bahan. Secara matematis dapat dikatakan bahwa seluruh proses yang terlibat, meski pada mesin pengering yang paling sederhana sekalipun adalah sangat tidak linier dan karenanya pembesaran skala mesin pengering umumnya sangat sulit.

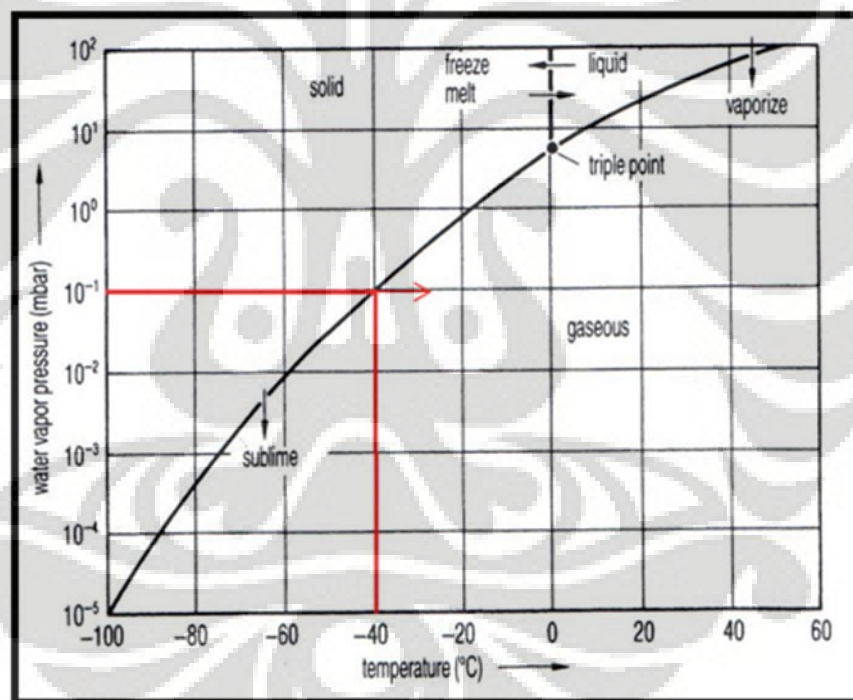
Ada beberapa masalah yang seringkali ditemui dalam proses pengeringan. Yang pertama adalah masalah yang berkaitan dengan mutu hasil pengeringan. Operasi yang dijalani dalam pengeringan adalah operasi yang cukup rumit yang meliputi perpindahan panas dan massa serta mungkin beberapa laju proses lain, seperti perubahan fisik atau kimia dari produk, yang mana hal-hal tersebut dapat saja menimbulkan perubahan mutu hasil. Perubahan fisik yang mungkin terjadi antara lain adalah pengerutan dan penggumpalan. Selain perubahan fisik, dapat pula terjadi perubahan kimia yang merubah aroma, warna, tekstur atau sifat padatan yang lain yang dihasilkan. Yang kedua adalah masalah kapasitas dari proses pengeringan itu sendiri, dimana kebutuhan pada saat ini yang cukup tinggi, sehingga perlu juga dipikirkan mengenai bagaimana membuat mesin pengering yang memiliki kapasitas besar. Kemudian masalah selanjutnya adalah yang berkaitan dengan kondisi dan sifat dari bahan yang dikeringkan cukup bervariasi, dan terkadang menuntut perlakuan khusus. Masalah-masalah ini menuntut adanya modifikasi dari proses pengeringan tradisional (dengan cara menjemur atau sekedar memanaskan) menjadi proses-proses pengeringan dengan karakter dan kemampuan yang lebih spesifik dan dengan sesuai dengan kebutuhan masing-masing produk.

### **II.1.1 Definisi Pengeringan Beku**

Pengeringan beku atau *lyophilization* merupakan proses dimana suatu larutan dikristalkan terlebih dahulu pada temperatur rendah untuk kemudian mengalami proses sublimasi secara langsung dari padat menjadi uap (George – Wilhelm Oetjen, Peter Haseley).

Proses pengeringan beku kebanyakan dilakukan dengan air sebagai pelarutnya. Gambar 2.1 menunjukkan fase diagram air dan lokasi dimana kemungkinan terjadi perubahan fase dari padat ke uap. Proses ini relatif jelas terjadi pada air murni. Jika larutan terdiri dari beberapa komponen pelarut murni maka diperlukan penyederhanaan grafik sehingga proses menjadi lebih mudah dipahami. Kompleksitas diatas umumnya terjadi pada bahan-bahan *biological*.

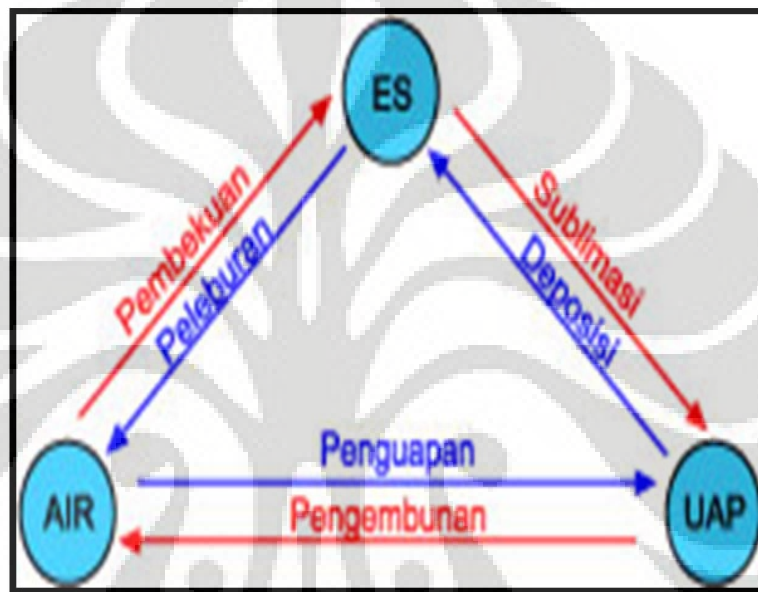
Tujuan dari pengeringan beku adalah untuk menghasilkan bahan yang mempunyai stabilitas yang baik dan tidak berubah setelah dicampur dengan air kembali. Hal ini juga sangat dipengaruhi oleh perlakuan akhir setelah proses yakni pengemasan serta kondisi penyimpanan.



Gambar 2.1. Diagram fase dari air (Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 1)

Pada diagram fase air ,zat padat akan menjadi kering jika zat cair pada zat padat menguap dan diambil oleh udara di sekitar zat padat tadi. Uap zat cair dari zat padat dapat diambil oleh udara dengan cara mengubah keadaan udara berdasarkan

temperatur, kelembaban, laju aliran, tekanan dan lain sebagainya. Setiap zat akan mempunyai kesetimbangan bentuk baik sebagai padat, cair, maupun gas sesuai dengan kondisi tekanan dan temperatur dari zat tersebut. Akan tetapi ada suatu batas dimana air akan berbentuk padat, cair maupun gas, yaitu pada titik *triple point*. Perubahan fase dari air ke padat (es) kemudian ke bentuk uap yang dapat dilihat pada gambar 2.2 dimana setiap perubahan fase melalui proses yang berbeda-beda.



Gambar 2.2. Perubahan Fase Air

([http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://125.163.204.22/e\\_books/modul\\_online/geografi/MO\\_96/images/kegiatan1no5hal41.jpg&imgrefurl=http://125.163.204.22/e\\_books/modul\\_online/geografi/MO\\_96/giat1a.htm&usq=\\_\\_9G8sMopGdtuAKEaNQg3SZUKIWck=&h=113&w=222&sz=11&hl=id&start=8&um=1&tbnid=DAoymLRpJ3yshM:&tbnh=54&tbnw=107&prev=/images%3Fq%3Dfase%2Bair%26hl%3Did%26client%3Dfirefox-a%26channel%3Ds%26rls%3Dorg.mozilla:en-US:official%26sa%3DN%26um%3D1](http://images.google.co.id/imgres?imgurl=http://125.163.204.22/e_books/modul_online/geografi/MO_96/images/kegiatan1no5hal41.jpg&imgrefurl=http://125.163.204.22/e_books/modul_online/geografi/MO_96/giat1a.htm&usq=__9G8sMopGdtuAKEaNQg3SZUKIWck=&h=113&w=222&sz=11&hl=id&start=8&um=1&tbnid=DAoymLRpJ3yshM:&tbnh=54&tbnw=107&prev=/images%3Fq%3Dfase%2Bair%26hl%3Did%26client%3Dfirefox-a%26channel%3Ds%26rls%3Dorg.mozilla:en-US:official%26sa%3DN%26um%3D1)).

Transformasi air dari zat padat ke cair, kemudian ke bentuk gas dan perubahan yang lain disebut perubahan fase air. Ada enam perubahan fase pada air yaitu :padat ke cair (mencair), cair ke padat (membeku), cair ke gas (menguap), gas ke cair (kondensasi), padat ke gas (sublimasi), dan gas ke padat (deposisi). Untuk dua



jenis perubahan fase terakhir (sublimasi dan deposisi) memerlukan kondisi yang ekstrim untuk bisa terjadi.

#### Keuntungan Penggunaan *Freeze Drying*

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.
- Dapat dilakukan penakaran yang akurat pada produk yang akan dikeringkan.
- Kandungan air dari produk akhir dapat dikendalikan selama proses berlangsung.
- Produk kering mempunyai penampilan yang bagus.
- Produk kering mempunyai stabilitas yang baik sehingga dapat mudah dilarutkan kembali dengan air.

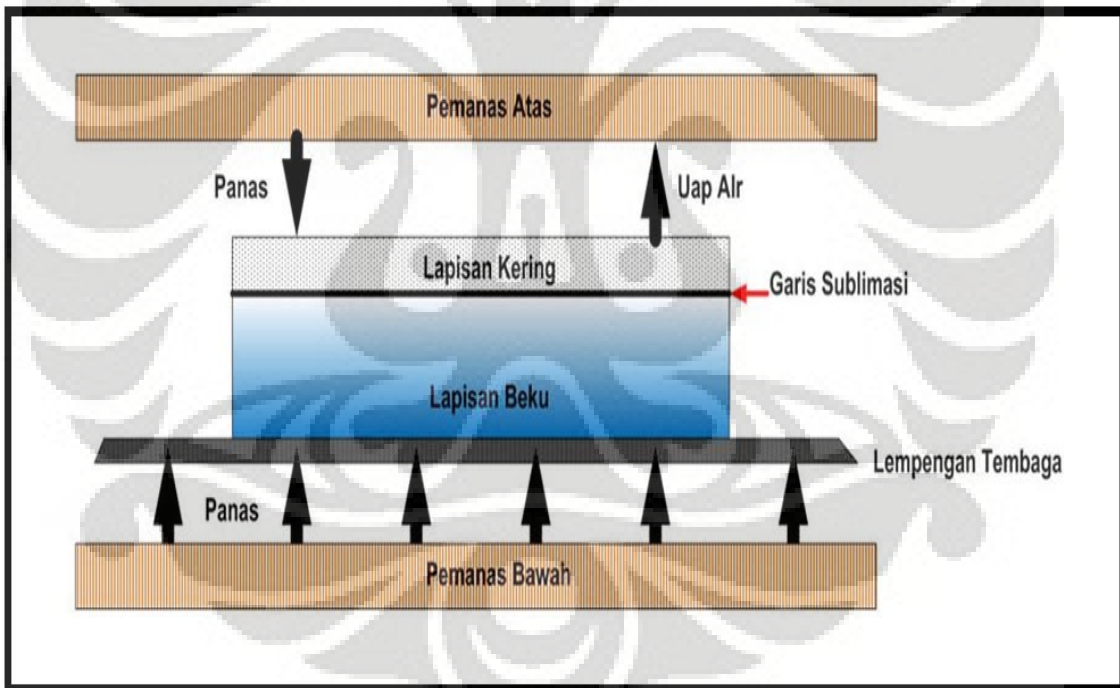
#### Kerugian Penggunaan Pengering Beku

Selain memiliki kelebihan sistem pengering 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.

## II.2 Prinsip Dasar Pengeringan Beku

Pengeringan beku meskipun merupakan proses pengeringan terbaik, mempunyai kelemahan berupa laju pengeringan yang lambat (Liapis dan Bruttini,1995; Martinez *et al.*,2001; Horadczek dan Viernstein,2004). Hal ini disebabkan panas dari atas, yang akan digunakan untuk sublimasi, harus dirambatkan melalui lapisan kering produk. Lapisan kering produk yang berstruktur rongga (porous) mempunyai konduktivitas yang sangat rendah, sehingga penghantaran panas ke permukaan sublimasi sangat rendah. Penelitian pengeringan beku dengan pemanasan dari atas ini telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, pengeringan bahan herbal oleh Tambunan *et al.* (2001), pengeringan durian oleh Siregar (2004), dan pengeringan larutan kopi oleh Araki *et al.* (2001).



Gambar 2.3. Model Fisik Pengeringan Dengan Pemanas Atas Dan Bawah

Belyamin (2008) melakukan penelitian pengeringan beku dengan pemanfaatan pembekuan vakum dan pemanasan dari bawah dan mendapatkan bahwa pemanfaatan pembekuan vakum dapat menghemat pemakaian energi sebesar 10,4%

dan pemanasan dari bawah dapat menghemat pemakaian energi sebesar 14% dibandingkan pemakaian energi pengeringan beku konvensional dengan lempeng sentuh. Belyamin (2008) memberikan panas untuk sublimasi dari panas air yang dipanaskan dengan pemanas listrik.

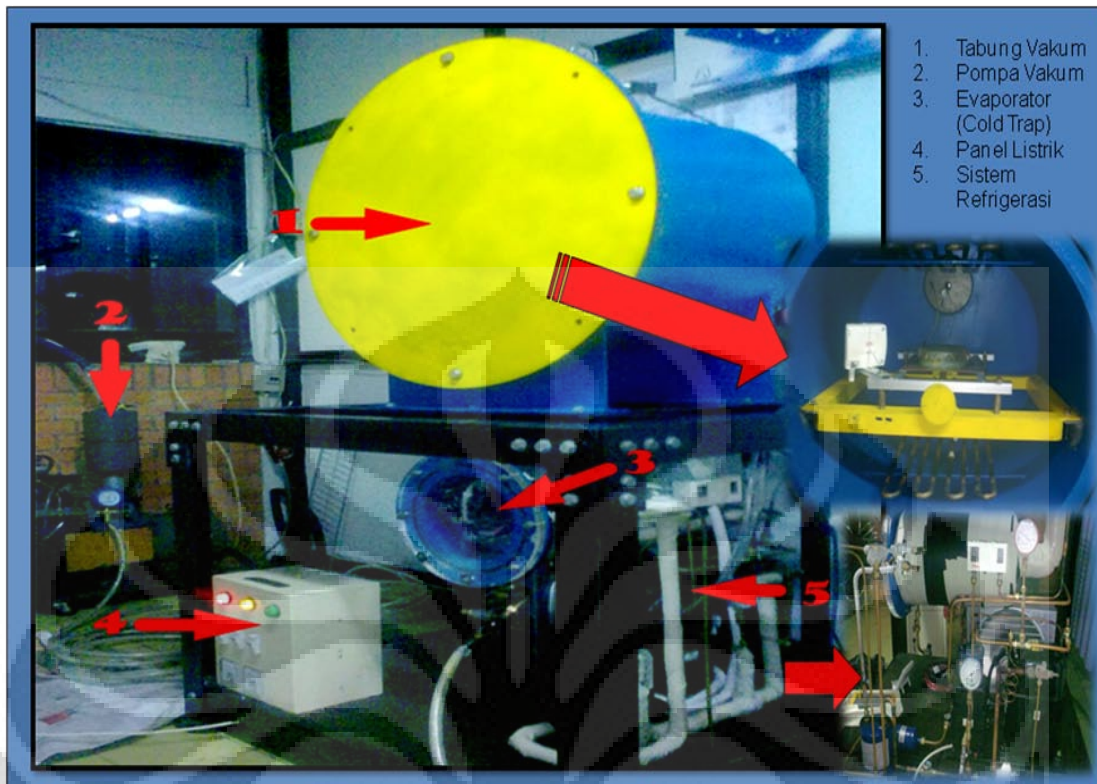
Untuk itu penelitian ini dilakukan dengan menggabungkan metode dengan menggunakan pemanas atas dan bawah dimana sumber panas akan dialihkan pada pemanfaatan panas terbuang dari kondenser sehingga diharapkan pemakaian energinya dapat makin dikurangi lagi. Pada pengeringan beku dengan pemanasan atas dan bawah, panas dipindahkan ke lapisan sublimasi melalui lapisan kering dan melalui lapisan beku. Panas ini digunakan untuk sublimasi dan mengeluarkan sebagian air terikat pada bahan padat.

Energi yang digunakan untuk pengeringan beku ini meliputi : energi pembekuan, energi pengeringan dan energi komponen pendukung seperti perangkap uap (cold trap). Model ini mengasumsikan proses pengeringan dibagi menjadi dua tahap :

1. Air yang dapat dibekukan selama proses pembekuan akan tersublimasi dan dikeluarkan bersama sebagian air terikat selama proses pengeringan primer.
2. Pengeluaran kandungan air pada produk melalui difusi selama proses pengeringan.

### **II.2.1 Komponen-komponen Utama Pengeringan Beku Pevakuman.**

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 yang berfungsi sebagai pengering beku. Komponen-komponen pengering beku ini meliputi :



Gambar 2.4. *Freeze Vacuum Drying*

- a. Ruang pengering (*chamber*) yang berisi pemanas atas dan bawah, dan sebagai tempat untuk meletakkan wadah sampel. Ruang pengering juga dilengkapi dengan *pressure transmitter*, *RH meter* untuk pengukuran tekanan dan kelembaban ruang pengering dan termokopel untuk pengukuran suhu ruang pengering, lapisan-lapisan sampel, dan pemanas.
- b. Perangkat uap evaporator (*cold trap*) digunakan untuk membantu laju pembekuan dan mempertahankan temperatur rendah didalam tabung vakum serta merupakan alat untuk menangkap uap hasil sublimasi sehingga uap tersebut tidak masuk ke pompa vakum yang dapat mengakibatkan rusaknya pompa vakum.

- c. Sistem refrigerasi yang terdiri dari kompresor, kondenser, katup ekspansi, dan evaporator yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap pada perangkat uap dan untuk membekukan sampel ketika pengering beku ini menggunakan mode pembekuan lempeng sentuh.
- d. Pompa vakum yang berfungsi untuk menangkap uap hasil pengeringan yang dilepas produk pada saat dipanaskan, uap ini mengandung zat cair yang dilepas dari padatan.
- e. Panel listrik yang berfungsi sebagai panel kelistrikan dari alat-alat yang membutuhkan sumber listrik untuk sistem pendingin seperti kompresor, kipas condenser dan lain-lain

### **II.2.2 Proses Pengering Beku Yang Ideal**

Kebanyakan proses pengeringan beku dilaksanakan pada temperatur dari  $-40^{\circ}\text{C}$  hingga  $-80^{\circ}\text{C}$  dan pada tekanan kira-kira 1 hingga  $10^3$  mbar. Proses pengeringan itu sendiri terjadi secara bertahap dimulai dari proses pembekuan, sublimasi, pemanasan, dan desorpsi. Karena proses yang bertahap itulah kebanyakan pengeringan beku ini memerlukan waktu yang cukup lama, biasanya lebih dari semalam. Untuk itu penulis mencoba menjabarkan secara bertahap proses yang terjadi selama pengeringan beku berlangsung.

#### **II.2.2.1 Pembekuan**

Untuk membekukan suatu zat maka perlu didinginkan sampai temperatur dimana bagian air dan padatan dari zat tersebut terkristalisasi secara menyeluruh atau dengan kata lain pembekuan dimana bagian air yang terkristalisasi dan padatan saling mengikat satu sama lain untuk membentuk satu kesatuan padat. Dalam proses pembekuan, kristal es yang akan terbentuk pertama kali untuk kemudian disusul

dengan bagian lain secara berlanjut yang bisa bervariasi tergantung harga pH. Dalam banyak zat eutektik (larutan yang mempunyai titik leleh lebih rendah dari tiap-tiap komponennya) suhunya dapat ditentukan, tetapi banyak zat lain nilai-nilai ini tidak ada. Adapun proses kristalisasi dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: laju pendinginan, konsentrasi struktur bahan, temperatur akhir pendinginan, waktu yang diperlukan untuk pendinginan hingga terjadi pembekuan. Pada beberapa bahan produk tidak terjadi proses kristalisasi dan produk tetap dalam keadaan semula atau dalam kondisi *glass-like phase*.

#### II.2.2.1.1 Jumlah Panas, Konduktivitas Panas, Perpindahan Panas dan Laju Pendinginan

Untuk air murni, panas pencairan (*melting heat*) yang akan digunakan untuk pembekuan dapat dihitung dengan persamaan 2.1, jika suhu awal dan suhu akhir diketahui.

$$Q_{\text{tot}} = c_w (T_1 - T_0) + Q_e + c_e (T_0 - T_2) \text{ (kJ/Kg)} \quad (2.1)$$

Dimana:

$c_w$  = kapasitas panas spesifik air

$Q_e$  = panas pencairan es

$c_e$  = kapasitas panas spesifik es

$T_0$  = temperatur pembekuan es

$T_1$  = temperatur awal air

$T_2$  = temperatur akhir es

Temperatur  $c_w$  terletak diantara +20 sampai 0 °C dan untuk  $c_e$  antara 0 sampai -50 °C digunakan sebagai temperatur rata-rata. Untuk larutan maupun campuran maka kandungan bahan harus diketahui terlebih dahulu. Dalam hal ini panas lebur

yang harus dibuang selama proses pembekuan dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{tot}} = [(c_w x_w + c_f x_f) + (T_1 - T_0)] + x_w Q_e + [(c_e x_w + c_f x_w) (T_0 - T_2)] \quad (2.2)$$

Dimana:

$x_w$  = Bagian air pada saat temperatur diatas  $0^\circ\text{C}$

$c_f$  = Panas spesifik padatan bahan, contoh:

- untuk produk daging binatang  $\approx 1,47 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$
- untuk produk tumbu-tumbuhan  $\approx 1,34 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$
- untuk beberapa bahan padatan:
 

karbohidrat	$\approx 1,42 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$
protein	$\approx 1,55 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$
lemak	$\approx 1,70 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$
garam	$\approx 0,80 \text{ kJ/Kg } ^\circ\text{C}$

$x_f$  = Bagian padatan

$x_w$  = Bagian es yaitu bagian yang membeku saat temperatur mencapai  $T_2$ .  
Jika terdapat *unfreezable water* (UFW) yakni tidak semua air membeku pada temperatur  $T_2$  maka harus ditambahkan suatu terminologi yang merefleksikan proses pendinginan pada bagian yang belum membeku.

Perpindahan energi dapat dihitung dari daerah pembekuan produk pada media pendingin, dapat disederhanakan dengan langkah-langkah berikut :

1. Produk adalah lapisan yang tak terbatas.
2. Produk didinginkan dari satu sisi saja.
3. Aliran energi kristalisasi pembekuan mengalir dari daerah yang telah mengkristal melalui es yang telah membeku lalu ke dasar wadah ke rak.

Waktu proses pembekuan ( $t_e$ ) dapat dituliskan sebagai berikut:

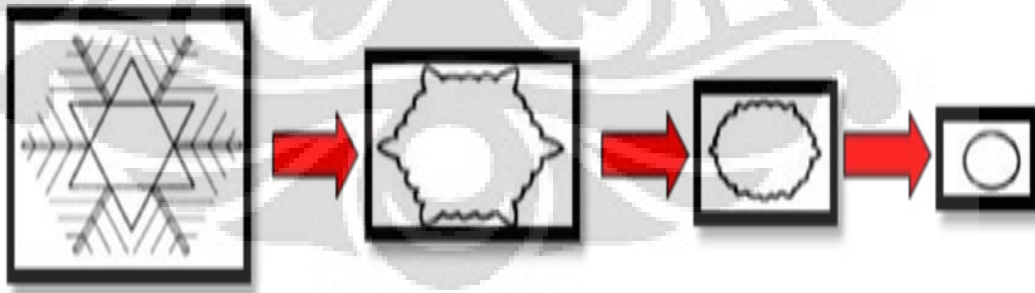
$$t_e = \Delta J / \Delta T \rho_g (d^2 / 2\lambda_g + d / K_{su}) \quad (2.3)$$

$$t_e = \Delta J / \Delta T \rho_g (w + u) \quad (2.3a)$$

Dimana:

- $t_e$  = waktu pembekuan  
 $\Delta J$  = perbedaan entalpi antara proses pembekuan awal dengan temperatur akhir  
 $\Delta T$  = perbedaan temperatur antara titik beku dengan media pendingin  
 $d$  = ketebalan produk diukur sejajar dengan arah laju perpindahan kalor  
 $\rho_g$  = berat jenis produk yang telah membeku  
 $\lambda_g$  = konduktivitas termal produk yang telah membeku  
 $K_{su}$  = koefisien perpindahan kalor permukaan antara media pendingin dengan daerah pembekuan

Pada air murni yang dianggap relatif bersih dari adanya campuran partikel asing, kelompok struktur molekulnya akan mulai mengkristal pada kondisi *subcooled* dengan temperatur  $-39^\circ\text{C}$  yang biasa dinamakan *homogeneous nucleation*. Partikel asing yang tidak larut berfungsi sendiri sebagai inti kristal sehingga pembekuan dinamakan *heterogeneous nucleation*. Dalam air yang normal terdapat sekitar  $10^6$  partikel per  $\text{cm}^3$  yang kesemuanya berfungsi sebagai inti dalam proses terjadinya pembekuan dimana proses akan berjalan secara efektif jika struktur campuran tersebut memiliki bentuk serupa dengan air.

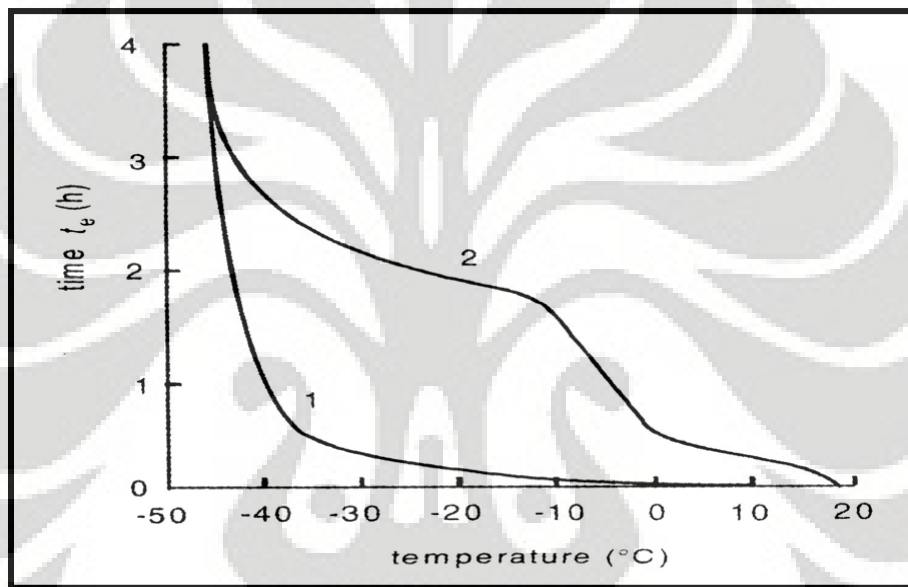


Gambar 2.5. Pertumbuhan kristal es dalam air

(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 14)



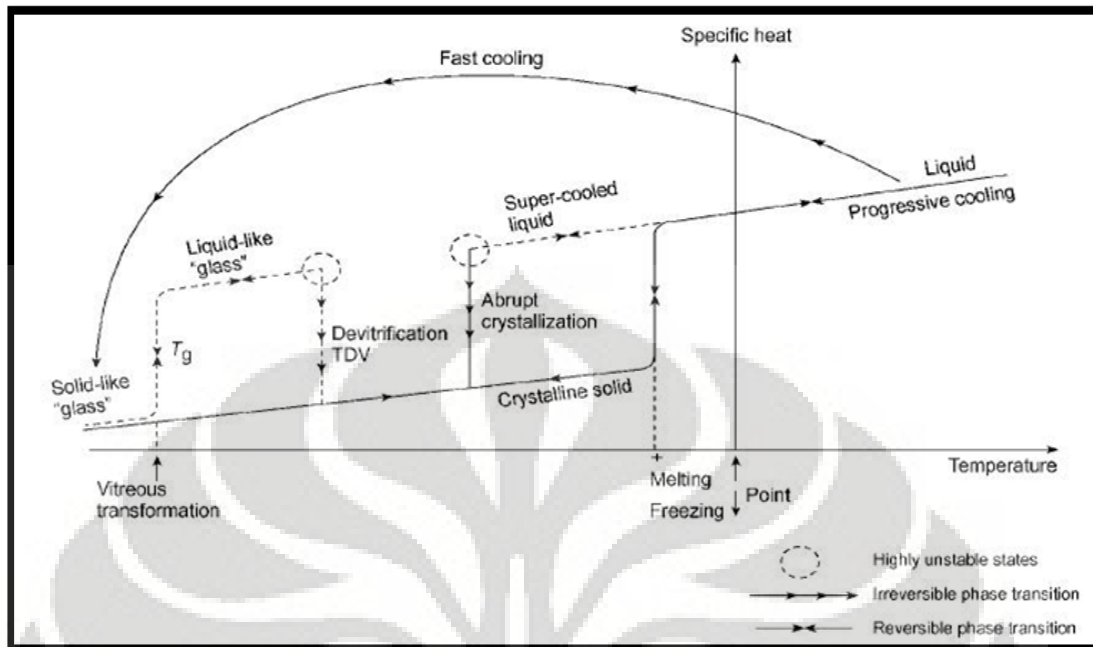
Ketika inti pembekuan sudah terbentuk, ia akan tumbuh menjadi stuktur es dengan lebih cepat pada bagian luarnya daripada bagian dalam inti untuk kemudian membentuk bintang es (Gambar 2.5). Selama proses pembekuan berlanjut, inti pembekuan akan membentuk cabang berupa gugusan bintang dengan sudut  $60^\circ$  yang biasa disebut *frost flower* dimana untuk setiap  $1 \times 10^{-9} \text{ mm}^3$  kristal beku air membutuhkan  $2.7 \times 10^{10}$  molekul air. Dalam hal ini sangat sulit memvisualisasikan proses pembentukan kristal beku meskipun dalam hitungan pecahan dalam detik terkecil sekalipun, tetapi proses tersebut dapat dilihat secara jelas bahwa proses pembentukan tersebut dipengaruhi oleh banyak faktor.



Gambar 2.6. Temperatur selama pembekuan adalah fungsi dari waktu. 1. Temperatur rak ; 2. Temperatur produk

(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 9)

Untuk laju pembekuan sangat dipengaruhi juga oleh ketebalan produk dan pemilihan rak/wadah pada saat produk diletakkan didalam ruang vakum. Pada gambar (2.6) dapat dilihat bahwa temperatur selama pembekuan adalah suatu fungsi dari waktu yakni untuk membekukan produk dengan ketebalan berbeda pada suhu  $(+20) - (-40)$  diperlukan waktu yang semakin panjang.



Gambar 2.7. Diagram teoritis temperatur rendah yang berpengaruh terhadap pembentukan struktur es

(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 31)

Selama pembekuan zat cair didinginkan dibawah panas spesifiknya dimana terjadi perubahan bentuk dari molekul didalam zat. Perubahan bentuk itu sangat tergantung dari temperatur, bila temperatur diturunkan secara tiba-tiba maka zat cair akan berubah bentuk secara cepat dari bentuk cair menjadi kristal es yang seperti kaca. Tetapi bila itu dilakukan secara cepat maka energi yang diperlukan juga relatif lebih banyak. Untuk itu biasanya cenderung dilakukan secara perlahan, tetapi ada kemungkinan terjadi perubahan perilaku molekul-molekul didalam zat cair karena sangat tidak stabil dan bisa saja dapat kembali ke bentuk semula, dan akan berpengaruh terhadap pembentukan struktur kristal es. Untuk lebih memahami proses tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7. Bila temperatur semakin rendah pembentukan struktur kristal es semakin baik.

### II.2.2.2 Pengeringan

Proses pengeringan pada umumnya merupakan proses yang meliputi dua mekanisme: (i) energi dialirkan untuk mengubah es menjadi uap air (dengan temperatur diantara -21 sampai -30 °C dibutuhkan energi sekitar 2805 kJ/Kg) dan (ii) proses perpindahan uap air dari permukaan sublimasi melalui bagian produk yang telah mengalami proses pengeringan menuju ke ruang pengering untuk kemudian mengalir kedalam ruang kondensasi atau sistem penyerapan uap air. Gambar 2.8 menunjukkan proses pengeringan utama (*MD = Main Drying*) yang diamati dengan *cryomicroscope* dimana 10% cairan encer dari *hydroxyethyl starch* (HES) secara terarah dibekukan. Dendrit es dikelilingi konsentrasi padatan yang digambarkan dengan garis lebih tebal setelah es mengalami proses sublimasi. Dengan tidak adanya proses pembekuan yang optimal, maka kecepatan laju proses sublimasi menjadi tidak merata.

Setelah es mengalami proses sublimasi, maka langkah selanjutnya adalah penyerapan air dari bagian padat produk yang disebut pengeringan lanjutan (*Secondary Drying*). Siklus dalam proses ini berbeda dengan yang terjadi pada pengeringan utama (*Main Drying*). Dalam proses pengeringan lanjutan ini perpindahan energi tidak memegang peranan yang penting karena kandungan air kurang dari 10% dari padatan. Kendati demikian hal itu membutuhkan perhatian tersendiri karena proses ini berhubungan dengan konsumsi waktu dari proses yang bisa memakan waktu seperti pada proses pengeringan utama.

#### II.2.2.2.1 Sublimasi (Pengeringan tingkat 1)

Jumlah energi yang diperlukan dalam proses sublimasi tergantung pada temperatur sublimasi itu sendiri, tetapi pada temperatur antara -10 hingga -40°C variasi energi kurang dari 2%. Lebih dari itu, sebagian besar energi dipergunakan untuk memanaskan uap air ketika melewati bagian produk yang telah kering terlebih dahulu ataupun bagian produk yang bersentuhan dengan wadah penampung produk. Panas spesifik uap air berkisar 1,67 kJ/Kg dan pertambahan temperatur maksimum

mencapai +20 atau +40°C. Namun energi panas tersebut dapat diabaikan jika dibandingkan dengan energi sublimasi yang diperlukan yaitu untuk memanaskan uap dari -30 ke +30°C yang memerlukan ~100 kJ/Kg atau mencapai ~3,5% dari proses sublimasi secara keseluruhan.

Energi sublimasi dapat disalurkan ke padatan es produk dengan beberapa cara antara lain:

1. Dengan proses radiasi dari suatu permukaan yang dipanaskan.
2. Dengan proses konduksi dari suatu plat atau gas yang dipanaskan.
3. Dengan konveksi gas.
4. Dengan proses dielektrik dalam frekuensi tinggi yang dimasukkan kedalam es.

Dengan data-data lengkap sesuai yang diperlukan dan beberapa asumsi serta beberapa penyederhanaan, diantaranya:

- Tebal lapisan es tak terbatas, energi hanya disalurkan melalui rak wadah menuju satu sisi dari lapisan produk.
- Uap air hanya dipindahkan dari permukaan es melalui sela-sela (porositas) produk kering.
- Produk yang membeku tidak mengalami porositas (dianggap pejal).
- Proses perpindahan panas yang terjadi pada bagian yang kering diabaikan.

Maka waktu yang diperlukan dalam proses pengeringan utama (*Main Drying*) dapat dirumuskan dengan:

$$t_{md} = (\rho_g \xi_w LS \Delta m d) / T_{tot} [(1/K_{tot}) + (d/2\lambda_g) + (d/2LSb/\mu)] \quad (2.4)$$

Dimana :

$\rho_g$  = densitas produk yang membeku (Kg/m<sup>2</sup>)

$\xi_w$  = bagian air (kg/kg)

LS = energi Sublimasi (2805 kJ/kg)

$T_{tot}$  = beda Temperatur ( $T_{tot} = T_{shelf} - T_{ice}$ )

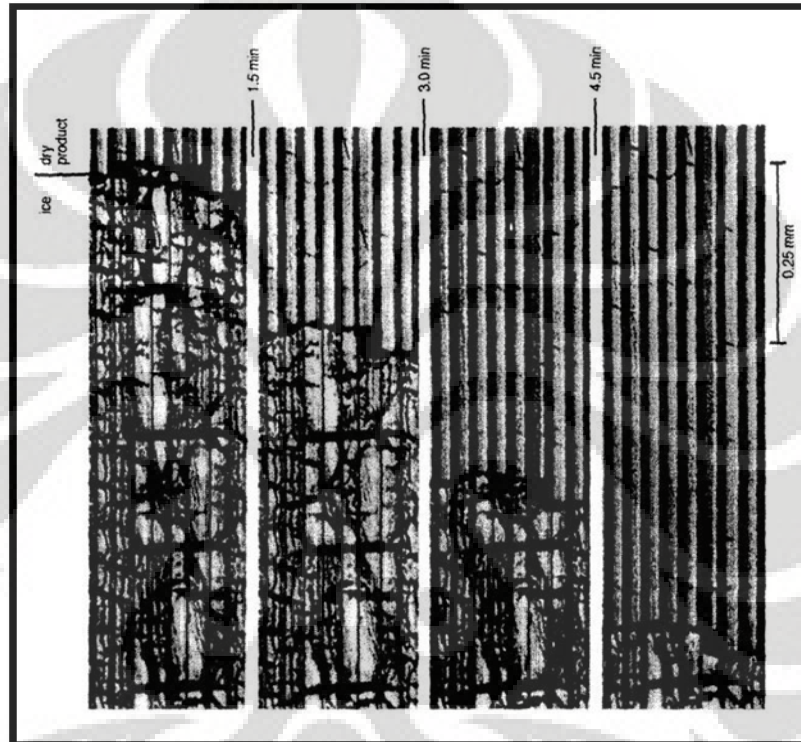
$K_{tot}$  = koefisien perpindahan panas total dari rak wadah hingga permukaan es yang akan mengalami sublimasi

$\lambda_g$  = konduktivitas panas dari produk beku

$d$  = ketebalan produk keseluruhan (m)

$\Delta m$  = kandungan air yang membeku

$b/\mu$  = permeabilitas atau koefisien perpindahan massa (kg/m h mbar)



Gambar 2.8. Proses *Main Drying* diambil dengan *cryomicroscope*

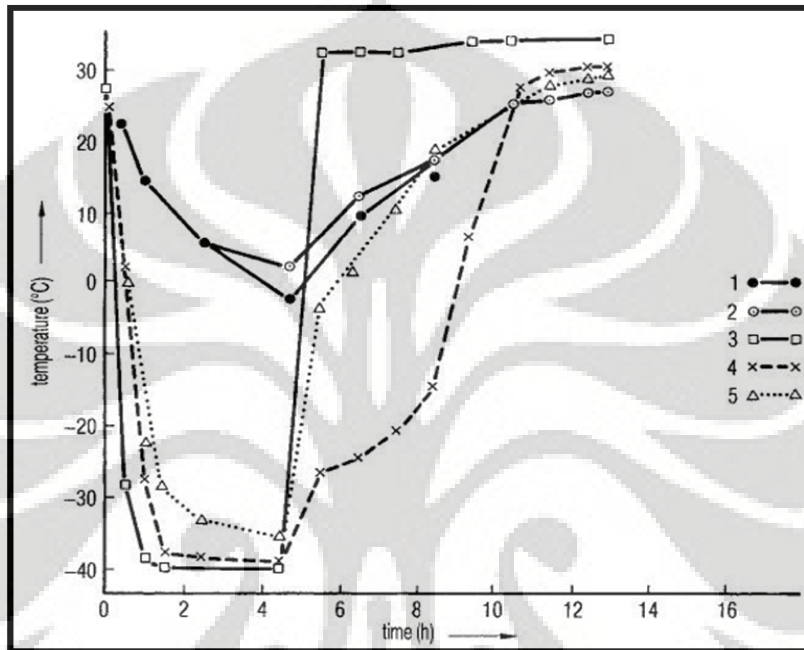
(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 77)

Untuk uap air yang melewati produk yang telah kering (dengan asumsi ini menghasilkan kesalahan ~4% pada  $T_{tot} = 100^{\circ}\text{C}$  dan ~2% pada  $T_{tot} = 50^{\circ}\text{C}$ ).

Pada intinya proses pengeringan utama (*Main Drying*) dipengaruhi oleh 2 variabel yaitu:

1. Pengendalian tekanan operasi yang sesuai,  $p_c$ .
2. Pemilihan temperatur rak wadah,  $T_{sh}$ .

Keuntungan dari kontrol tekanan operasi adalah meningkatkan perpindahan panas sehingga dapat memperpendek laju pengeringan serta dapat mengendalikan suhu rak. Disisi lain yang sama pentingnya suhu dari zat cair yang berubah menjadi es dapat dikontrol yang mana lebih rendah dari suhu rak. Tujuannya untuk mempengaruhi laju pengeringan selama proses sublimasi.



Gambar 2.9. Distribusi temperatur selama pembekuan dan sublimasi. 1. Suhu dinding ruangan; 2. Suhu pintu; 3. Suhu rak; 4. Suhu produk; 5. Suhu pelindung dari radiasi

(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 93)

#### II.2.2.2.2 Desorpsi (Pengeringan tingkat 2)

Selama proses pengeringan lanjutan (*Secondary Drying*), dimana kandungan air yang dibuang merupakan bagian yang melekat pada padatan yang tidak mengalami proses kristalisasi. Kandungan air tersebut dapat terikat pada permukaan kristal produk ataupun pada bagian butir produk yang telah kering.

Tiga kemungkinan untuk mendefinisikan perubahan fase dari proses pengeringan utama menuju pengeringan lanjutan (*Pikal [1.60]*) adalah:

- Pertambahan temperatur produk
- Pengurangan tekanan uap air parsial

- Peningkatan pada pengukuran tekanan  $dp/dt$  ( $dt$  waktu)

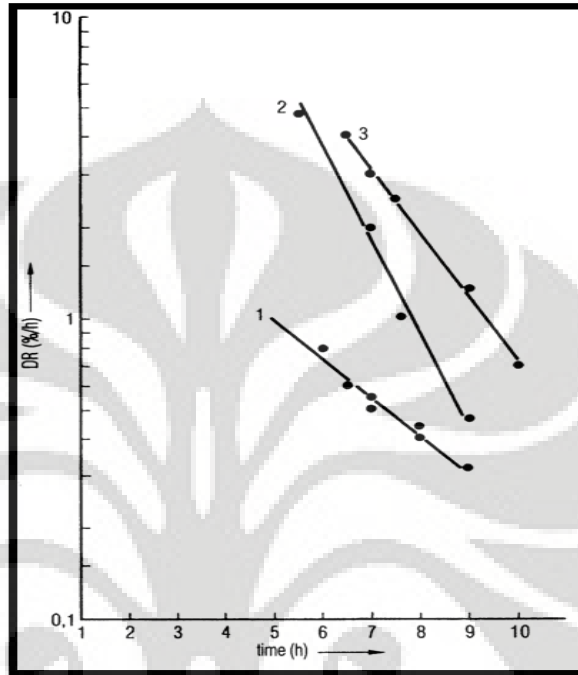
Temperatur produk mengalami peningkatan pada akhir proses pengeringan utama. Pengukuran temperatur yang dilakukan sensor dengan bias yang lebar mengakibatkan ketidakpastian pengukuran pada akhir proses pengeringan utama. Perubahan tekanan uap air parsial selama proses pengalihan dari pengeringan utama menuju pengeringan lanjutan memerlukan waktu beberapa jam tergantung pada kondisi proses yang sedang berlangsung.

Pada sebagian praktik pengeringan, salah satu proses bisa memerlukan waktu beberapa jam sebelum temperatur meningkat hingga mencapai proses pengeringan lanjutan, hal ini dilakukan guna menghindari kerusakan sebagian produk (*partial collapse*). Kemungkinan lain untuk mengetahui perpindahan fase proses pengeringan adalah dengan mengukur peningkatan tekanan dalam interval waktu tertentu hingga terjadi perubahan yang bisa digunakan sebagai batasan perpindahan proses. Cara tersebut akan lebih jelas penerapannya jika besarnya laju penyerapan air per satuan waktu dan keterkaitannya dengan bagian padatan dapat diketahui yang biasa disebut dengan laju penyerapan (*DR: Desorption Rate*) yang dapat didefinisikan dengan:

$$DR = \frac{\text{amount of water absorbed} \times 100}{\text{time} \times \text{mass of solid}} \left( \frac{\%}{h} \right) \quad (2.5)$$

Jumlah air yang terserap dapat dihitung dengan mengamati kenaikan tekanan setelah dilakukan penutupan katup antara ruang pengering dengan ruang evaporator, dibagi dengan lamanya waktu penutupan dan volume ruang pengering. Gambar 2.10 menunjukkan tiga pengulangan proses pengukuran laju penyerapan air tanpa kontrol tekanan yang bertujuan untuk mendemonstrasikan kemampuan ulang produksi serta dua pengukuran dimana pengeringan utama yang menggunakan tekanan 0.36 dan 0.21 mbar.

Dengan menggunakan barometer, alat pengukur temperatur (*BTM: barometric temperature measurement*) serta pengukuran laju desorpsi (*DR: desorption rate*) didapat bahwa pengaruh variasi kondisi pengeringan dapat dilihat dan dianalisa.



Gambar 2.10. Laju pengeringan desorpsi terhadap waktu

(Georg-Wilhelm, *Freeze Drying* hal 100)

### II.2.2.2.3 Pengukuran Temperatur dan Tekanan

Pengukuran temperatur dan tekanan selama proses pengeringan beku (*freeze-drying*) merupakan salah satu pekerjaan yang tidak mudah. Elemen thermal ( $T_h$ ; *thermal element*) serta dependensi tahanan elektrik terhadap temperatur (RTD) sistem hanya melakukan pengukurannya sendiri dan hanya melakukan temperatur pada daerah yang melakukan kontak ataupun yang paling dekat dengan alat ukur tersebut. Lebih dari itu, alat ukur melakukan pemanasan sendiri dan sekelilingnya dengan adanya arus listrik yang mengalir pada sensor selama proses dan juga mempengaruhi proses kristalisasi produk disekelilingnya dengan cara:



- Dengan energi yang ditimbulkannya.
- Dengan induksi *heterogeneous crystallization* yang menimbulkan efek yang berbeda seandainya tanpa sensor.
- Dengan proses *subcooling* yang berbeda dimana dapat menjadi lebih kecil pada daerah sekeliling sensor yang akhirnya dapat menghasilkan kekasaran struktur produk.

Struktur produk akan berubah dan masukan panas oleh sensor juga akan mempengaruhi proses pengeringan utama pada botol/wadah produk yang menggunakan sensor. Berkaitan dengan pengukuran itu, permasalahan lain yang muncul dalam prakteknya adalah dimana sensor Th dan RTD harus dimasukkan kedalam produk lalu disambungkan dengan saluran yang melawati dinding vakum menuju rangkaian sistem pengukur. Sementara pengaturan posisi sensor memiliki pengaruh yang terbatas dimana selama proses pembekuan, sensor temperatur menghasilkan gambaran pengukuran yang cukup akurat meskipun sebenarnya produk memberikan reaksi yang berbeda pada saat dimasuki sensor pengukur dan tanpa sensor.

Selama proses pengeringan utama situasinya berbeda dimana kondisi kontak permukaan sensor yang paling dekat dengan produk hanya akurat pada awal proses pengeringan utama untuk kemudian temperatur yang terukur tergantung secara tidak langsung pada kondisi proses dimana sangat sulit untuk dianalisa. Adapun posisi sensor, diatas, di tengah ataupun pada bagian bawah botol / wadah sangat menentukan hasil data yang terukur. Volume isi wadah yang lebih kecil (ketebalan sekian millimeter) akan menghasilkan data pengukuran yang tidak cukup menghasilkan data yang bermanfaat sebagai bahan analisa. Parameter utama dalam proses pengeringan utama adalah temperatur pada daerah lapisan dimana terjadi proses sublimasi yang tidak bisa diukur dengan Ths ataupun RTDs.

Penurunan tekanan pada saat proses perpindahan uap air dari wadah menuju ruang pengering tidak terjadi jika permukaan produk sama besar dengan ruang

terbuka wadah menuju ke ruang pengering. Jika terdapat tutup penghalang pada keluaran wadah pada proses. Untuk itu pangering beku dirancang dengan katup yang dapat mengatur tekanan dan temperatur didalam ruang vakum seperti yang terlihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Needle valve* sebagai pengatur panas buang kondensor didalam tabung vakum

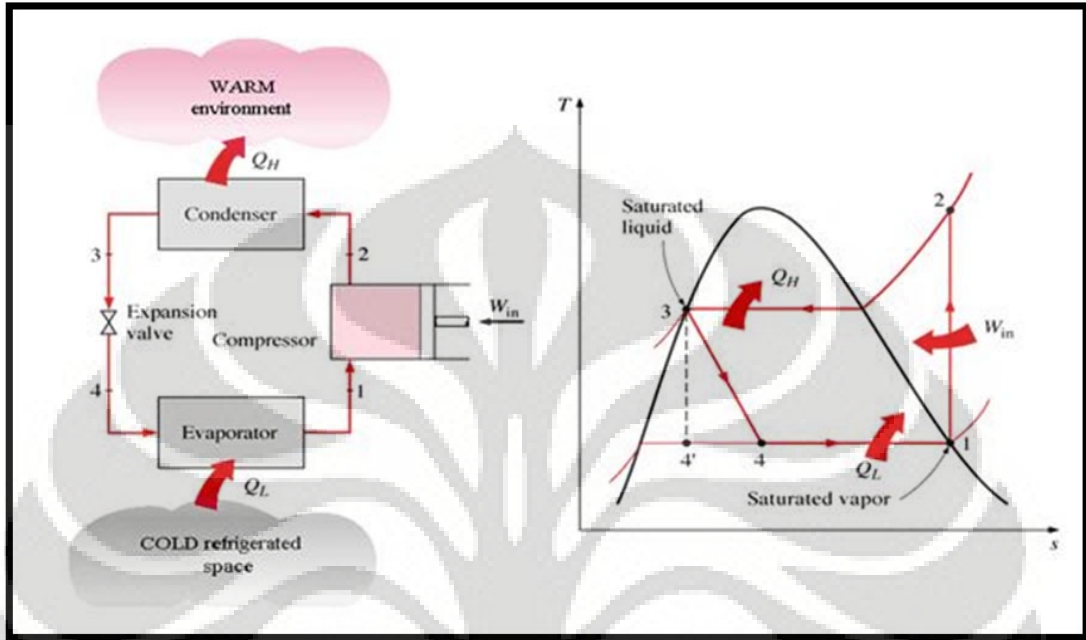
### II.2.3 Sistem Refrigerasi

Refrigerasi dapat didefinisikan sebagai suatu proses untuk mencapai dan menjaga temperatur dibawah temperatur sekitarnya dengan tujuan mendinginkan ruang ataupun produk tertentu sesuai dengan kebutuhan.

#### II.2.3.1. Siklus Ideal Sistem Refrigerasi

Siklus ideal sistem refrigerasi merupakan pengembangan dari *reversed carnot cycle* melalui proses evaporasi gas *refrigerant* sebelum dikompresikan dan dengan mengganti peran turbin dengan *throttling device* seperti katup ekspansi

ataupun pipa kapiler. Siklus sistem ini dapat digambarkan dengan diagram sebagai berikut:



Gambar 2.12. Siklus Refrigerasi

(Cengel, Yunus A., Michael A. Boles, "Thermodynamics an Engineering Approach Fourth Edition International Edition", McGraw-Hill, 2002).

Dengan penjabaran siklus untuk tiap-tiap langkah sebagai berikut:

- 1-2 Kompresi isentropik dalam kompresor
- 2-3 Tekanan konstan proses pembuangan panas dalam kondensor
- 3-4 Proses *throttling* oleh katup ekspansi
- 4-1 Tekanan konstan proses penyerapan panas dalam evaporator

Gas *refrigerant* mengalami penurunan tekanan pada saat melewati katup ekspansi sedemikian rupa sehingga lebih rendah daripada temperatur ruangan yang didinginkan untuk kemudian memasuki evaporator dan menguap dengan menyerap

panas dari ruangan yang ingin didinginkan. Gas kemudian keluar dari evaporator dalam kondisi *saturated vapor* lalu memasuki kompresor dan melanjutkan siklus pendinginan.

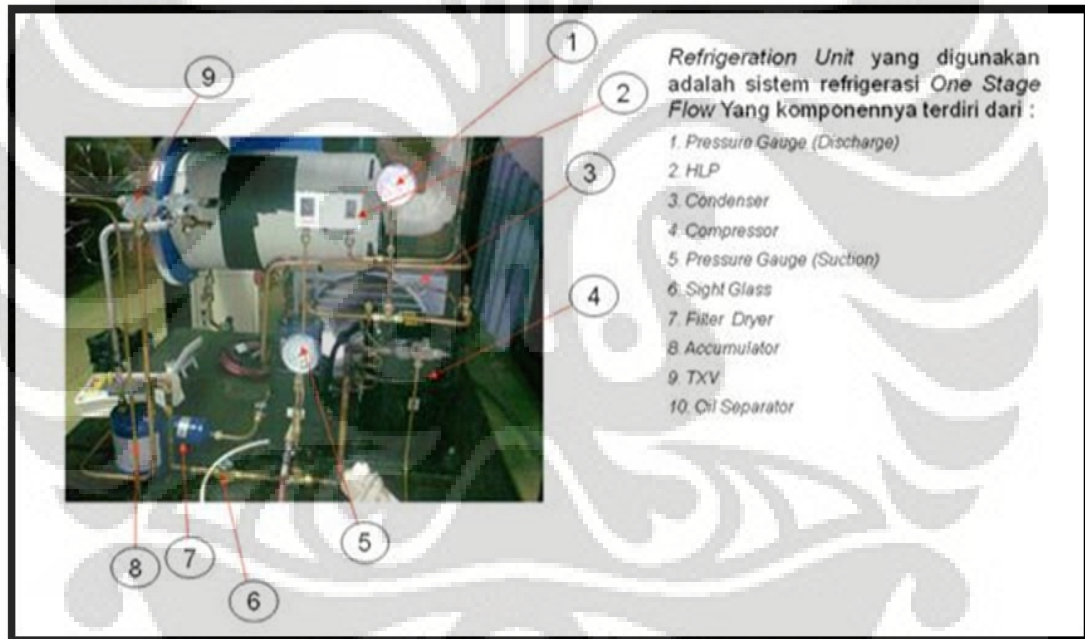
Adapun prosesnya dapat dijelaskan secara lebih detil berikut ini :

- Refrigeran yang telah bersirkulasi satu siklus penuh masuk ke kompresor dalam keadaan uap jenuh (*saturated vapor*) dan akan ditekan di dalam kompresor ke tekanan yang lebih tinggi, menghasilkan tekanan dan temperatur *refrigerant* yang tinggi.
- Uap yang keluar dari kompresor dalam keadaan temperatur tinggi, dikenal dengan uap panas tingkat lanjut (*superheated vapor*) kemudian akan menuju ke kondensor dimana di kondensor ini *refrigerant* akan didinginkan dan dikondensasikan menjadi cairan dengan cara melewatkannya melalui *tube* bersirip, proses pendinginan di kondenser terdapat 2 cara yaitu : dengan udara yang dihasilkan dari fan/blower atau dengan media cairan pendingin ( contoh : air ). Pada kondenser terjadi peristiwa pembuangan kalor dari refrigeran/sistem ke lingkungan.
- *Refrigerant* yang telah terkondensasi menjadi cairan, dikenal dengan cairan jenuh (*saturated liquid*) kemudian akan menuju alat ekspansi dimana tekanannya akan diturunkan. Penurunan tekanan ini akan menghasilkan campuran x % cair dan y % uap, yang kuantitasnya dapat dilihat di diagram mollier y % uap inilah yang disebut sebagai *flash gas* yang akan mendinginkan sisa *refrigerant* yang masih berbentuk cairan ke temperatur yang lebih rendah dari temperatur ruangan yang akan didinginkan.
- Campuran uap dan cairan refrigeran yang bertemperatur dan bertekanan rendah kemudian akan memasuki evaporator. Fan akan mensirkulasikan udara yang tentunya lebih hangat dari temperatur campuran cairan dan uap refrigeran. Udara yang lebih hangat inilah yang akan membuat refrigeran cair berevaporasi seluruhnya sampai ke kondisi uap jenuh (*saturated vapor*) . Pada waktu yang sama pula, udara hangat akan menjadi dingin setelah melewati

evaporator (karena terjadi proses perpindahan panas), udara yang dingin keluar dari evaporator akan mendinginkan ruangan sampai ke temperatur yang diinginkan. Untuk menyelesaikan satu siklus refrigerasi penuh maka 100 % uap dari evaporator akan kembali menuju kompresor.

### II.2.3.2 Komponen-komponen Sistem Refrigerasi

Sebagaimana dijelaskan diatas alat pengering beku dengan pemvakuman ini memanfaatkan panas buang dari kondenser untuk mengeringkan produk didalam tabung (*chamber*), untuk itu diperlukan suatu sistem pendingin yang berfungsi sebagai sistem pendukung (*support system*) dari proses pengeringan produk.



Gambar 2.13. *Refrigeration Unit*

#### 1. Kompresor

Kompresor merupakan komponen yang penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mendorong gas *refrigerant* secara terus menerus dari evaporator sehingga tekanan dan temperatur yang rendah didalam evaporator dimana terjadi

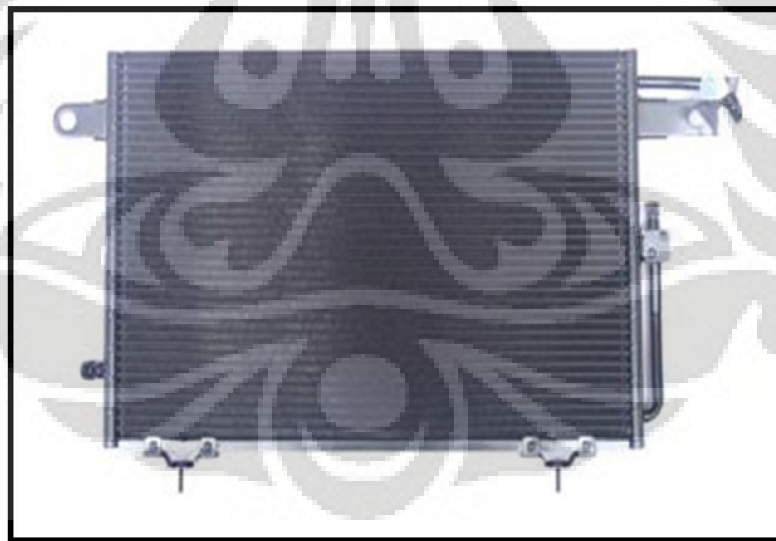
penguapan dan pelepasan panas dari ruangan dapat dipertahankan. Kompresor kemudian harus mampu menaikkan tekanan *refrigerant* pada tingkatan dimana akan mengkondesasi dengan membuang panas ke media pendingin dalam kondensor. Kompresor yang digunakan dalam sistem ini adalah jenis kompresor hermatik (*sealed*). Jenis kompresor ini menempatkan motor penggerak dan kompresor dalam satu ruangan dan dibuat sedemikian rupa sehingga tidak dimungkinkan terjadi kebocoran dari dalam kompresor. Kelemahan jenis kompresor ini adalah kurangnya pendinginan motor penggerak yang menyebabkan pemanasan komponen kompresor sehingga dalam hal ini diperlukan mekanisme pendinginan dengan melewati gas *refrigerant* melalui motor penggerak sehingga dalam hal ini diperlukan jenis *high dielectric refrigerant* sehingga adanya kebakaran akibat kontak listrik dapat dihindari. Kompresor Hermatik memiliki kerapatan yang tinggi sehingga memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval temperatur yang rendah namun efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan *Open Compressor* dikarenakan sebagian aliran *refrigerant* digunakan untuk mendinginkan kompresor.



Gambar 2.14. Kompresor

## 2. Kondenser

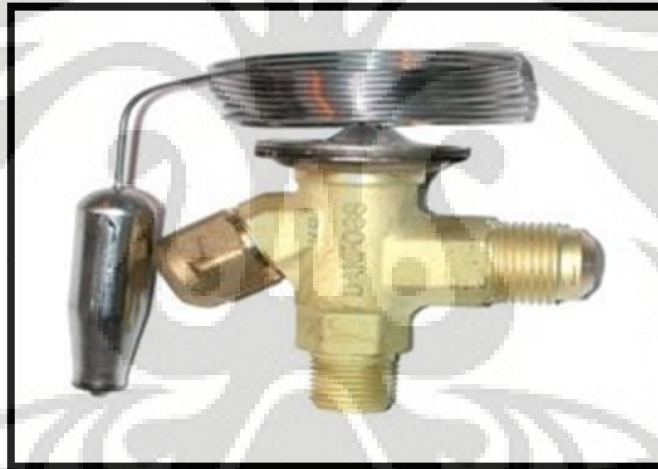
Pada prinsipnya kondensor maupun evaporator merupakan komponen perpindahan panas dimana gas refrigerant mengalami perubahan fase. Didalam kondensor, refrigerant vapour mengalami kondensasi dengan membuang panas menuju media luar yang berfungsi sebagai penyerap panas. Sedangkan dalam evaporator, gas refrigerant mengalami penguapan dan menyerap panas dari sekitarnya. Kondenser yang digunakan pada sistem ini adalah condenser yang menggunakan pendinginan paksa. Dalam hal ini perpindahan panas terjadi antara komponen dengan udara sekitar. Terdapat dua jenis pendinginan yaitu konveksi alami dan konveksi paksa dimana pada konveksi alami proses perpindahan panas terjadi disebabkan adanya gaya buoyancy akibat perbedaan temperatur sedangkan pada konveksi paksa sirkulasi udara pendingin dilakukan dengan bantuan kipas ataupun *blower* sehingga jenis komponen ini memiliki kapasitas yang lebih besar. Kedua jenis *heat exchanger* ini bisa dilengkapi dengan *fin* melalui pengaturan jarak tertentu dalam meningkatkan kapasitas perpindahan panas.



Gambar 2.15. Kondenser

### 3. Katup Ekspansi

Katup ekspansi merupakan salah satu bagian utama sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dari kondensor untuk disesuaikan dengan tekanan *evaporator* serta mengatur aliran *refrigerant* dari cairan bertekanan tinggi menuju yang ke *evaporator* untuk disesuaikan dengan laju penguapan dalam *evaporator*. Dalam kondisi normal laju aliran massa *refrigerant* dalam sistem harus proporsional dengan beban pendinginan maupun dengan pengkondisian yang lainnya. Terdapat dua jenis katup ekspansi yaitu *fixed opening* tipe dan *variable opening type* dimana pada jenis pertama luasan aliran *refrigerant* konstan sedangkan yang kedua luasan aliran berubah seiring dengan perubahan laju aliran massa. Jenis yang kedua ini memiliki beberapa tipe antara lain:



Gambar 2.16. Katup Ekspansi

#### c) Orifice

Merupakan metode untuk menurunkan tekanan dengan menaikkan kecepatan aliran refrigerant pada saat melewatkannya pada suatu penyempitan dalam pipa aliran yang disebut orifice. Orifice tidak dapat dipisahkan dari katup ekspansi, keduanya merupakan satu paket.

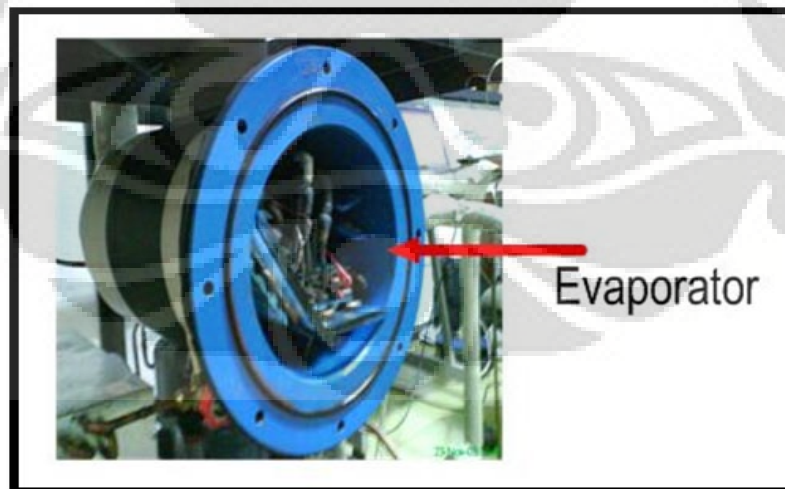




Gambar 2.17. *Orifice*

#### 4. Evaporator

Evaporator adalah media pemindahan energi panas melalui permukaan refrigerant cair menguap dan menyerap panas dari udara dan produk yang ada didalam ruang tersebut. Evaporator pada sistem pengering beku ini difungsikan juga sebagai perangkap (cold trap) uap air hasil sublimasi didalam ruang pengering.



Gambar 2.18. *Evaporator sebagai Cold Trap*

## 5. Zat Pendingin

*Refrigerant* dalam sistem pendingin memegang peranan penting dalam efisiensi siklus pendinginan sehingga dalam pemilihannya diperlukan penyesuaian dengan desain sistem, ukuran, keamanan maupun dengan isu yang berkaitan pemanasan global sehingga diperlukan pemikiran yang komprehensif dalam pemilihannya. Beberapa kriteria yang diperlukan dalam pemilihan *refrigerant* antara lain:

Sifat thermodynamic dan thermo-physical yang mempertimbangkan:

- a. *Suction pressure* : dimana dengan temperatur kerja evaporator, tekanan saturasi hendaknya diatas tekanan atmosfer guna menghindari udara masuk ataupun embun masuk kedalam sistem serta supaya mudah dalam mendeteksi adanya kebocoran. Tekanan yang lebih tinggi lebih baik karena dapat meringankan kerja kompresor.
- b. *Discharge pressure* : dimana dengan temperatur kerja kondensor, tekanan kondensor hendaknya serendah mungkin untuk memperkecil ukuran kompresor, kondensor maupun sistem lainnya.
- c. *Pressure ratio* : hendaknya serendah mungkin untuk mendapatkan efisiensi volumetrik yang tinggi serta kebutuhan daya yang rendah.
- d. *Latent heat of vaporization* : hendaknya setinggi mungkin sehingga laju aliran massa yang diperlukan untuk setiap unit kapasitas pendinginan menjadi kecil.
- e. *Isentropic index of compression* : hendaknya serendah mungkin sehingga kenaikan temperatur selama proses kompresi menjadi rendah.
- f. *Liquid specific heat* : hendaknya serendah mungkin sehingga derajat temperatur *subcooling* menjadi besar untuk menghindari gas menguap pada saluran masuk evaporator.

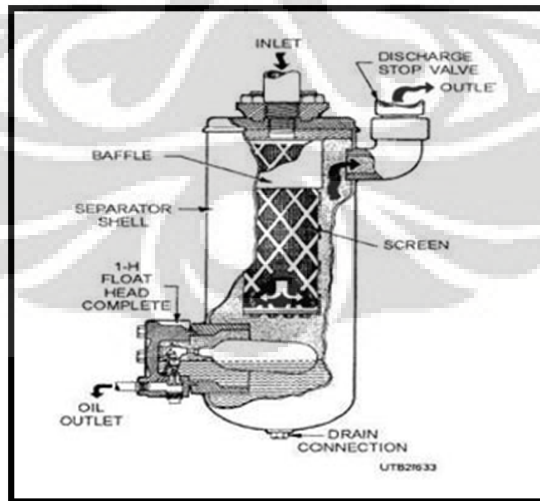
g. *Vapor specific heat* : hendaknya setinggi mungkin sehingga derajat *temperature superheating* menjadi rendah.

h. *Viscosity* : nilai viskositas hendaknya rendah baik pada fase cair maupun uap untuk menghindari *pressure drop* dalam sirkulasi sistem.

## 6. Komponen pendukung sistem pendingin

### i. *Oil separator*

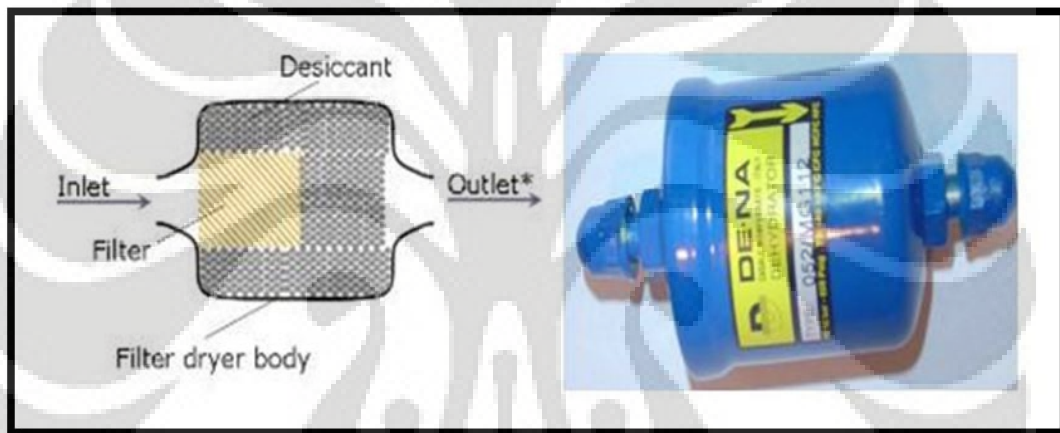
Kompresor dalam sistem refrigerasi menghasilkan tekanan aliran uap *refrigerant* yang cukup besar dan panas serta mengandung oli dari kompresor yang ikut terbawa saat proses *discharging* berlangsung sehingga diperlukan *oil separator* yang berfungsi untuk menyaring dan mengembalikan oli ke kompresor. Proses pemisahan terjadi dikarenakan aliran uap mengalami perlambatan pada saat memasuki *oil separator* untuk kemudian mengumpulkannya hingga level tertentu untuk kemudian dialirkan dengan dibukanya sebuah *needle valve* yang digerakkan oleh pelampung. *Oil separator* hendaknya di insulasi untuk menghindari berfungsi sebagai kondensor yang dapat melepas panas ke lingkungan.



Gambar 2.19. *Oil Separator*

## ii. *Filter dryer*

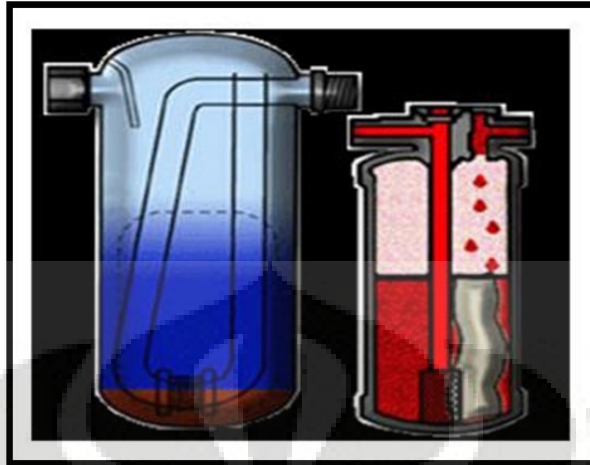
Merupakan komponen sistem pendingin yang berfungsi untuk menyaring *refrigerant* dari zat pengotor dan kandungan air yang terbawa sirkulasi selama proses sehingga bersih dan tetap kering. *Filter dryer* biasanya berupa tabung silinder yang terbuat dari aluminium, tembaga ataupun baja yang berisi bahan kimia seperti alumina aktif atau *silica gel* yang mampu menyerap air sebesar 12 sampai 16% dari beratnya. Kedua ujung saluran masuk dan keluar komponen berisi elemen penyaring dengan ujung yang di hubungkan secara permanen.



Gambar 2.20. *Filter Dryer*

## iii. *Accumulator*

Berfungsi sebagai komponen pengaman sistem, *accumulator* berfungsi untuk mencegah cairan *refrigerant* mengalir melewati saluran hisap dan memasuki kompresor. Masuknya cairan *refrigerant* kedalam kompresor dapat menyebabkan *knocking* dan mengakibatkan kerusakan. Cairan *refrigerant* yang memasuki *accumulator* akan diuapkan untuk menjamin saluran masuk yang menuju kompresor berisi uap.



Gambar 2.21. *Accumulator*

iv. *Sight glass*

*Sight glass* pada umumnya dipasang pada saluran yang mengandung cairan *refrigerant* untuk mendeteksi adanya gelembung secara visual serta menganalisa kondisi sistem. Pada bagian atas komponen ini biasanya terdapat tanda berupa warna yang mengindikasikan kondisi *refrigerant* pada saat melewati *sight glass*. Terdapat dua macam cara menyambung komponen ini yaitu dengan *soldering* atau baut pada kedua ujungnya dimana pada cara yang pertama pipa dibuat lebih panjang untuk menghindari kerusakan akibat pemanasan kaca saat pemasangan.



Gambar 2.22. *Sight Glass*

v. *Shut-off valve*

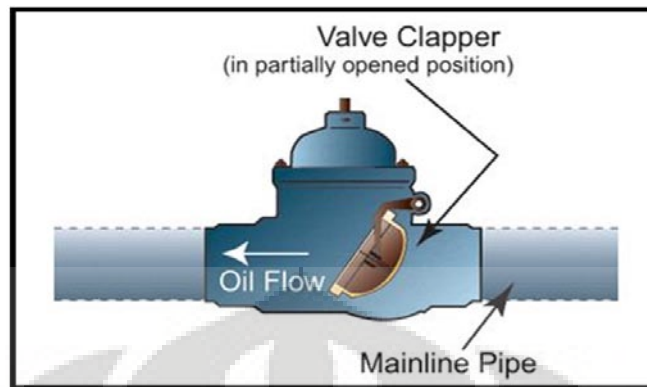
Katup ini berfungsi untuk mengatur besarnya tekanan pada saluran yang juga bisa dipakai untuk menghentikan suatu bagian sistem tertentu yang dalam desain dipisahkan dengan *shut-off valve* tanpa mengganggu sistem yang lain. Katup yang biasanya digerakkan dengan tangan ini harus tahan terhadap korosi, operasi yang berulang-ulang tanpa menimbulkan kebocoran.



Gambar 2.23. *Shutt/off Valve*

vi. *Check valve*

*Check valve* merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem refrigerasi dimana katup ini berfungsi untuk mencegah aliran cairan atau uap *refrigerant* dari arah aliran yang salah. Dalam hal *check valve* harus terhindar dari kebocoran melalui penggunaan seal yang benar sehingga kobocoran *refrigerant* pada aliran sesuai dengan yang diinginkan dapat dihindari. Katup ini juga harus memiliki respon buka yang baik karena jika terjadi hambatan dalam proses kerjanya maka katup bisa berfungsi sebagai *throttling* dikarenakan adanya *pressure drop* yang cukup besar.



Gambar 2.24. *Check Valve*

vii. *Pressure gauge*

Berfungsi untuk mengukur tekanan yang melewati saluran *refrigerant* yang berfungsi sebagai indikator untuk mengetahui keadaan sistem selama siklus berlangsung. Pada umumnya satuan tekanan dalam *pressure gauge* menggunakan *pounds per square inch* diatas tekanan atmosfer (psig atau psi) dimana tekanan nol pada *pressure gauge* menunjukkan tekanan satu atmosfer atau 14.7 psia. Dalam hal tertentu terdapat alat ukur yang juga mendeteksi tekanan vakum yang menunjukkan tekanan nol absolut.



Gambar 2.25. *Pressure Gauge*

# BAB III

## METODE PENELITIAN

### III.1 Garis Besar Pengujian

Bab ini menjelaskan tentang prosedur pada saat pengujian pengering beku dengan metode pemvakuman dimana telah dilakukan penulis untuk mendapatkan data yang dipergunakan untuk melihat unjuk kerja dari alat *freeze vacuum drying* yang telah dirancang dan dibuat. Untuk lebih jelasnya penulis merangkumnya pada bab ini serta dapat dijelaskan seperti dibawah ini.

#### III.1.1 Parameter-parameter yang ditentukan

Pada pengujian *vacuum drying* ini parameter-parameter yang ditentukan adalah berupa tekanan, temperatur, dan kelembaban. Adapun parameter-parameter itu adalah :

⊙ Tekanan

Tekanan yang dimaksud adalah tekanan vakum yang akan dihasilkan pada ruang vakum dibatasi dengan range 0.1 mbar dibawah nol relatif tekanan ambient. Dalam hal ini tekanan vakum yang dimaksud dibatasi mengingat kemampuan pompa vakum sendiri dan tabung yang akan digunakan untuk pengujian.

⊙ Temperatur

Temperatur yang dimaksud adalah temperatur ruang vakum yang dihasilkan oleh pemanas yang dibatasi sesuai dengan pengambilan data (dijadikan variable pengambilan data).



### III.1.2 Komponen-komponen Alat Pengujian

Pada pengujian *freeze vacuum drying* ini diusahakan sesederhana mungkin komponen-komponen yang dibutuhkan yang ditunjukkan untuk mempermudah pengujian dan sudah barang tentu penghematan dana yang akan dikeluarkan.

### III.2 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 :

1. Pompa vakum.
2. Tabung vakum.
3. Termokopel.
4. *Testing Manifold*.
5. *Vacuum gauge*
6. Timbangan *Digital*.
7. *RH Meter*.
8. *Pressure Transmitter*.
9. *National Instrument (DAQ)*
10. *Power Supply*

*Software* instrumentasi yang digunakan pada saat pengukuran :

- ⊙ *LabVIEW 8.5*

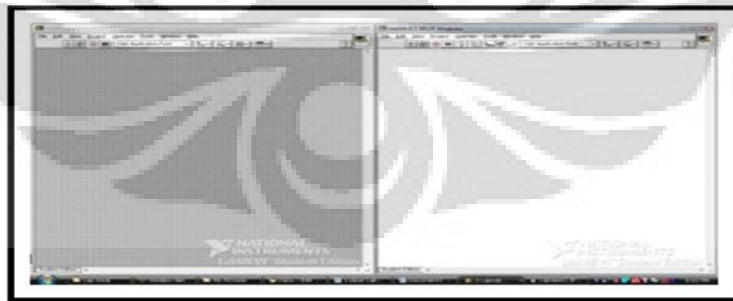
*LabVIEW* (singkatan dari *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah perangkat lunak komputer untuk pemrosesan dan visualisasi data dalam bidang akuisisi data, kendali instrumentasi serta automasi industri yang

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. Memang belum begitu banyak yang mengenal *LabVIEW*, biasanya program *LabVIEW* dipakai saat praktikum sistem kendali. Berbeda dengan pemrograman berbasis teks dimana instruksi-instruksi menentukan eksekusi program, *LabVIEW* merupakan pemrograman aliran data dimana aliran data menentukan eksekusi dari program.

Program *LabVIEW* disebut dengan *Virtual Instrumen* 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.

*LabVIEW* terdiri dari tiga komponen, yaitu :

1. *Front panel*, merupakan *user interface*.
2. *Block diagram*, terdiri dari sumber-sumber grafik yang mendefinisikan fungsi-fungsi dari *VI*.
3. *Icon* dan *connector panel*, mengidentifikasi suatu *VI* sehingga bisa digunakan pada *VI* yang lain. *VI* yang terdapat pada *VI* lain disebut dengan sub*VI*.



Gambar 3.1 Tampilan *LabVIEW*

### III.2.1 Pompa Vakum

Pompa vakum yang dipergunakan adalah pompa vakum yang dipergunakan untuk menghisap *cairan refrigerant* dari kompresor yang bias juga digunakan untuk penelitin *freeze vacuum drying* ini. Pompa vakum yang digunakan mempunyai spesifikasi :



Gambar 3.2. *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* :  $6.7 \times 10^{-2}$  Pa

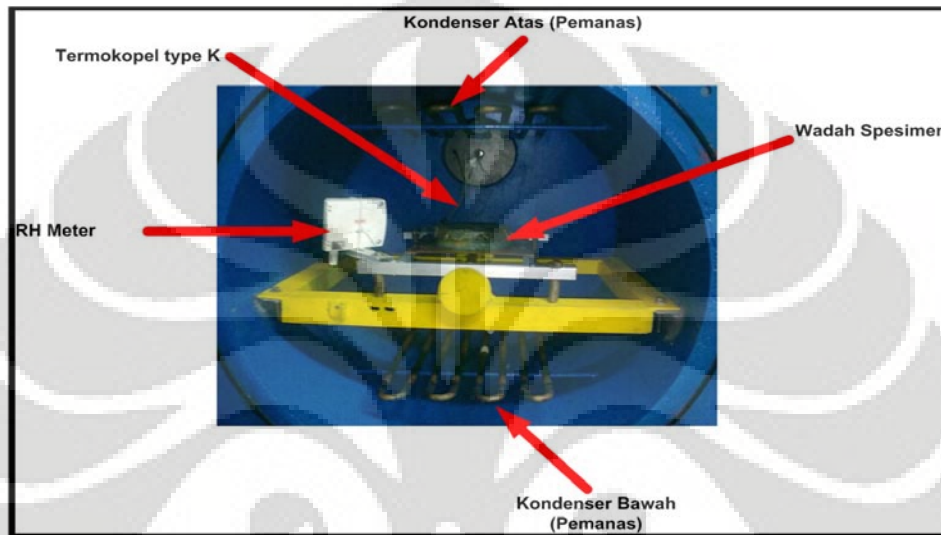
*Motor Power* : 2.2 kW

*Oil Capacity* : 2.8 L

*Pump Weight* : 138 kg.

### **III.2.2 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 *vacuum gauge*, *pressure transmitter*, *RH meter*, dan termokopel. Juga digunakan untuk tempat menaruh produk uji (*specimen*), dengan raknya.



Gambar 3.3. Tabung Vakum

### III.2.3 Termokopel

Termokopel adalah sebuah instrumentasi yang berfungsi mengirim perubahan temperatur ke komputer. Temperatur ini dipergunakan untuk membaca suhu didalam tabung vakum, suhu produk, dan beberapa tempat lainnya seperti di sistem pendingin yang menjadi *support system* pada *freeze vacuum drying*. Termokopel pada ruang pemvakuman diletakkan di beberapa tempat untuk mengukur suhu ruang tabung dan produk. Termokopel ini dimasukkan kedalam tabung dengan cara melubangi tabung hingga menembus dan masuk kedalam tabung.

Pengujian ini menggunakan termokopel tipe K karena jenis ini yang banyak dijual dipasaran dan lebih murah serta pemakaiannya tidak memerlukan suatu syarat

tambahan seperti perlu ditambahkan rangkaian penguat dan lain sebagainya. Termokopel nantinya dihubungkan pada data akuisisi yang hasil pengukurannya dapat langsung terbaca di komputer.



Gambar 3.4. Termokopel tipe K.

#### III.2.4 *Testing Manifold*

Testing manifold sebenarnya hanya alat tambahan yang dipergunakan untuk mengatur aliran udara yang divakum. Artinya *testing manifold* ini mengatur debit udara yang mengalir keluar agar udara yang dipompakan keluar tidak terlalu cepat ataupun terlalu lambat. Selain itu pada *testing manifold* ini terdapat *pressure gauge* tersendiri yang dapat mengukur tekanan vakum hingga 30 psi dibawah nol relatif.



Gambar 3.5. *Testing Manifold*

#### III.2.5 *Vacuum Gauge*

*Vacuum gauge* adalah sebuah instrumentasi untuk mengukur tekanan vakum pada tabung. Alat ini sendiri mempunyai keterbatasan pengukuran sampai 78 cmHg.



Gambar 3.6. *Vacuum gauge*

### III.2.6. Timbangan *Digital*.

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital dengan ketelitian 2 angka dibelakang koma dengan satuan gram, type AND Ek 300i dengan batas kemampuan 300 gr. Timbangan ini dipakai untuk menimbang massa dari produk pada saat pengujian.



Gambar 3.7. Timbangan *Digital*.

### III.2.7. *RH Meter*

RH meter dipergunakan untuk mengukur kelembaban udara (W) pada saat pengujian. RH meter yang digunakan jenis sensor yang disambungkan dengan DAQ (data akuisisi) *National Instrument*. Hasil pembacaan *RH meter* dalam bentuk arus (A) dan harus dikonversi lagi dalam bentuk persen (W%) . RH meter ini memiliki spesifikasi :

*Type* : Kimo TH 100

*Measuring Range* : 0 – 100% RH (*Humidity*).

0 - 50°C, -20 - 80°C, -50 - 50°C, 0 - 100°C

*Resolution* : 0.1% RH 0.1°C

*Type of fluid* : *Air and neutral gases*.



Gambar 3.8. *RH Meter*

### **III.2.8. 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* (4-20mA)

*Operating Temperature* : (-20°C to 80°C).



Gambar 3.9. *Pressure Transmitter*

### III.2.9. *National Instrument (NI)*

*National Instrument* adalah sebuah instrumentasi yang digunakan untuk membantu pengukuran yang berbasis data akuisisi (DAQ), instrumen ini berupa modul yang digunakan untuk membantu pembacaan hasil pengukuran yang berupa gelombang elektromagnetik kemudian diubah menjadi data pengukuran yang sebenarnya. Sebagai contohnya pada saat mengukur tekanan menggunakan *pressure*



*transmitter* hasil pengukuran berupa arus tetapi setelah melewati modul *national instrument* akan diubah menjadi satuan tekanan (bar).

Adapun *national instrument* yang dipakai pada saat pengambilan data adalah tipe DAQ – 9174, tetapi aplikasi modul yang digunakan untuk pengukuran berbeda-beda sesuai dengan spesifikasinya sebagai berikut:

- Termokopel → *National Instrument* (NI) 9211 TC  $\pm 0$  mV
- *Pressure Transmitter* → *National Instrument* (NI) 9203 AI  $\pm 20$  mA
- *RH Meter* → *National Instrument* (NI) 9203 AI  $\pm 20$  mA
- *Input* 9 – 30 V ; 15 W max.



Gambar 3.10. *National Instrument*

### III.2.10. *Power Supply*

Pada dasarnya *power supply* termasuk dari bagian *power conversion*. *Power conversion* sendiri terdiri dari 3 macam : *AC/DC power supply*, *DC/DC Converter*, dan *DC/AC Inverter*. *Power Supply* juga sering di sebut sebagai PSU (*Power Supply Unit*). PSU termasuk *Power Conversion AC/DC*. Fungsi utamanya mengubah listrik

arus bolak-balik (*AC*) yang tersedia dari aliran listrik (Indonesia, PLN). Menjadi arus listrik searah (*DC*) yang di butuhkan komponen.



Gambar 3.11. *Power Supply*

*Power Supply* di harapkan dapat melakukan fungsi-fungsi berikut ini :

- *Rectification*: Konversi *input* listrik *AC* menjadi *DC*.
- *Voltage Transformation* : Memberikan keluaran tegangan *DC* yang sesuai dengan yang di butuhkan.
- *Filtering* : Menghasilkan arus listrik *DC* yang lebih “bersih” bebas dari noise listrik yang lain
- *Regulation* : Mengendalikan tegangan keluaran agar tetap terjaga tergantung pada tingkatan yang di inginkan, beban daya dan perubahan kenaikan temperatur kerja juga toleransi perubahan tegangan daya input.
- *Isolation* : Memisahkan secara elektrik output yang di hasilkan dari sumber input

- *Portection* : Mencegah lonjakan tegangan listrik (jika terjadi), sehingga tidak tersedianya sekering untuk *auto shutdown* jika hal ini terjadi.

Idealnya sebuah *power supply* dapat menghasilkan *ouput* yang bersih, dengan tegangan *output* yang konstan terjaga dengan tingkat toleransi dari tegangan *input*, beban daya, juga suhu kerja, dengan tingkat konversi efisiensi 100 %. *Power supply* yang digunakan mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

- *Type* : JL – 145s12
- *AC Input* : 170 V – 264 V
- *DC Output* : 12 V – 12 A

### **III.3. Metodologi Pengujian.**

#### **III.3.1. Lokasi Pengujian**

Pengujian dilakukan dengan menggunakan peralatan yang telah disebutkan pada sub bab sebelumnya, berlokasi di Laboratorium Perpindahan Kalor (Heat Transfer Laboratory) lantai III Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

#### **III.3.2. Susunan Alat**

Untuk pengujian ini susunan alat dapat dilihat pada skema 2 dimensi (gambar 3.13) sesuai dengan fungsi dan peletakannya.

#### **III.3.3. Benda uji.**

Benda uji yang dipilih untuk pengujian adalah *aloe vera* (lidah buaya) yang memiliki kandungan air sebesar 98.7 %. Hasil kandungan air tersebut diperoleh dari pemeriksaan kandungan gel lidah buaya melalui uji proksimat dan analisis mineral

berdasarkan hasil pemeriksaan di laboratorium analisis komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000.



Gambar 3.12. Produk *Aloe Vera*

#### **III.3.4. Persiapan Sebelum Pengujian**

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

1. Memastikan alat-alat instrumentasi apakah sudah siap dipakai serta melihat jika kemungkinan tidak bisa dipakai maka harus menyiapkan alternatif lain..
2. Mempersiapkan benda uji, supaya tidak menghambat pengujian dan menghemat waktu dalam mempersiapkan pengujian.
3. Mengukur massa dari spesimen sebelum pengujian.
4. Menyusun alat ukur sesuai dengan kondisi dan tempat pengukuran.
5. Menutup rapat tabung sehingga dipastikan tidak ada kebocoran.

### III.3.5. Pengujian.

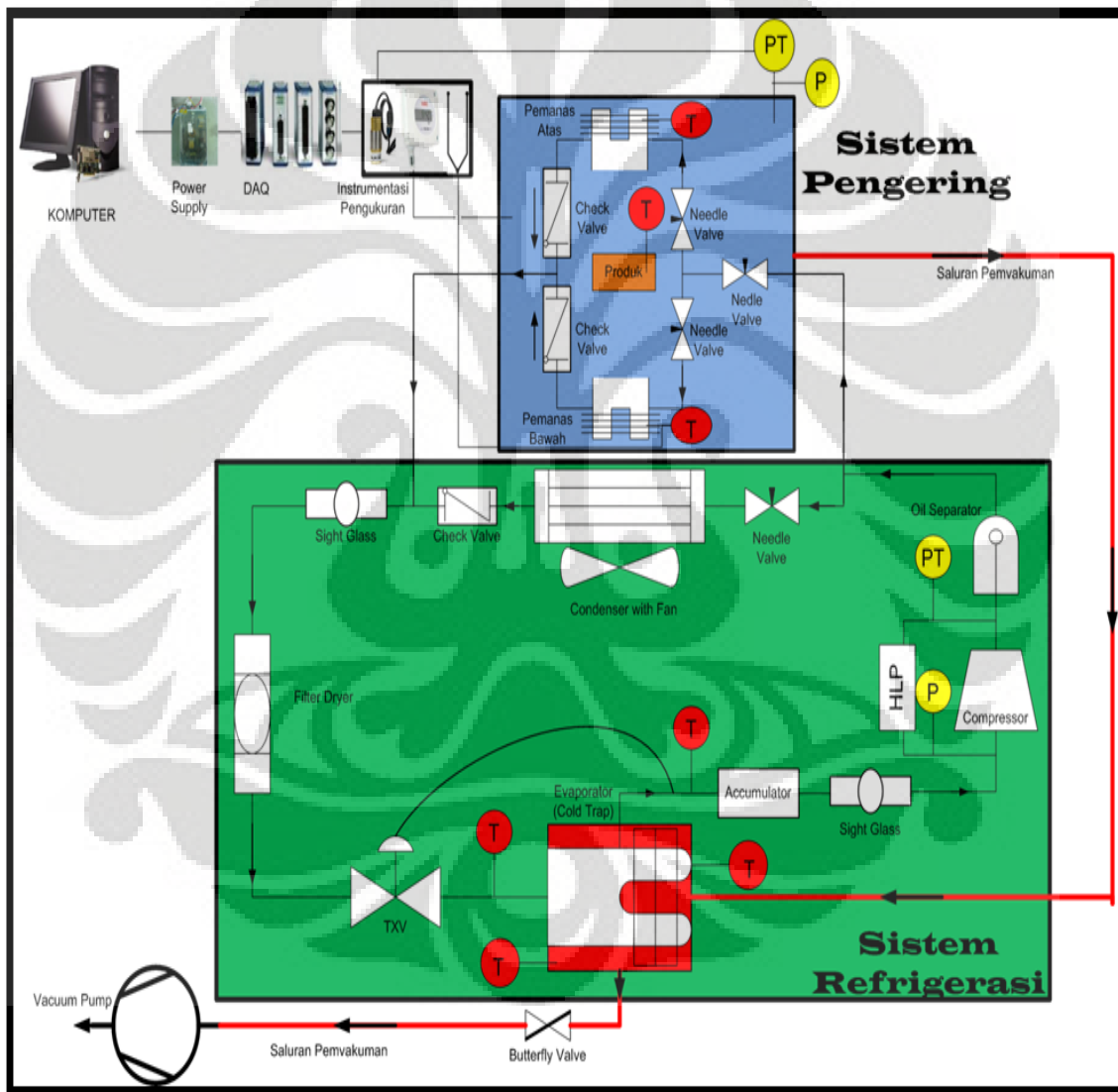
Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

- Alat-alat instrumentasi seperti termokopel dan *RH meter* dihubungkan pada modul *national instrument* dan dihubungkan ke komputer supaya dapat direkam data pengujian yang diambil.
- *Pressure transmitter* dihubungkan dengan modul *national instrument* sehingga bacaan tekanan dapat direkam menggunakan program *labview*.
- *RH meter* diletakkan didalam tabung, diposisikan sedekat mungkin dengan spesimen yang akan dikeringkan.
- Meletakkan produk pada wadah yang telah dibuat, serta menancapkan 3 buah termokopel pada spesimen dengan akumulasi ketinggian setiap 5 mm, hal ini dimaksudkan agar temperatur produk dapat diketahui seiring proses pembekuan dan pengeringan berlangsung.
- Tabung ditutup, kemudian dicatat temperatur dan nilai kelembaban pada tekanan awal tersebut (tekanan atmosfer, diasumsikan 1 atm).
- Sistem pendingin dinyalakan sampai temperatur evaporator (*coldtrap*) mencapai suhu yang paling rendah.
- Katup bukaan panas kondenser dibiarkan tertutup.
- Jika temperatur *evaporator* sudah mencapai suhu yang paling rendah dan stabil maka pompa vakum dinyalakan sehingga udara dari dalam tabung dihisap.
- Bila tekanan tabung sudah mencapai tekanan yang rendah dan stabil maka katup bukaan panas buang kondenser dibuka perlahan-lahan.
- Kegiatan ini dibiarkan terus, penulis hanya mengamati fenomena data akuisisi pada komputer bila temperatur *evaporator* sudah hampir menjadi positif maka katup panas buang kondenser ditutup lagi. Apabila sudah kembali turun maka katupnya dibuka perlahan-lahan

dengan maksud supaya sistem berjalan dengan baik (temperatur *evaporator* tetap minus supaya uap air dapat ditangkap dan tidak ke hisap ke dalam pompa vakum).

- Data pengujian akan otomatis terekam pada komputer.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram rangkaian komponen dibawah ini.



Gambar 3.13. Rangkaian komponen *freeze vacuum drying*.

### III.3.6. Kondisi Pengujian

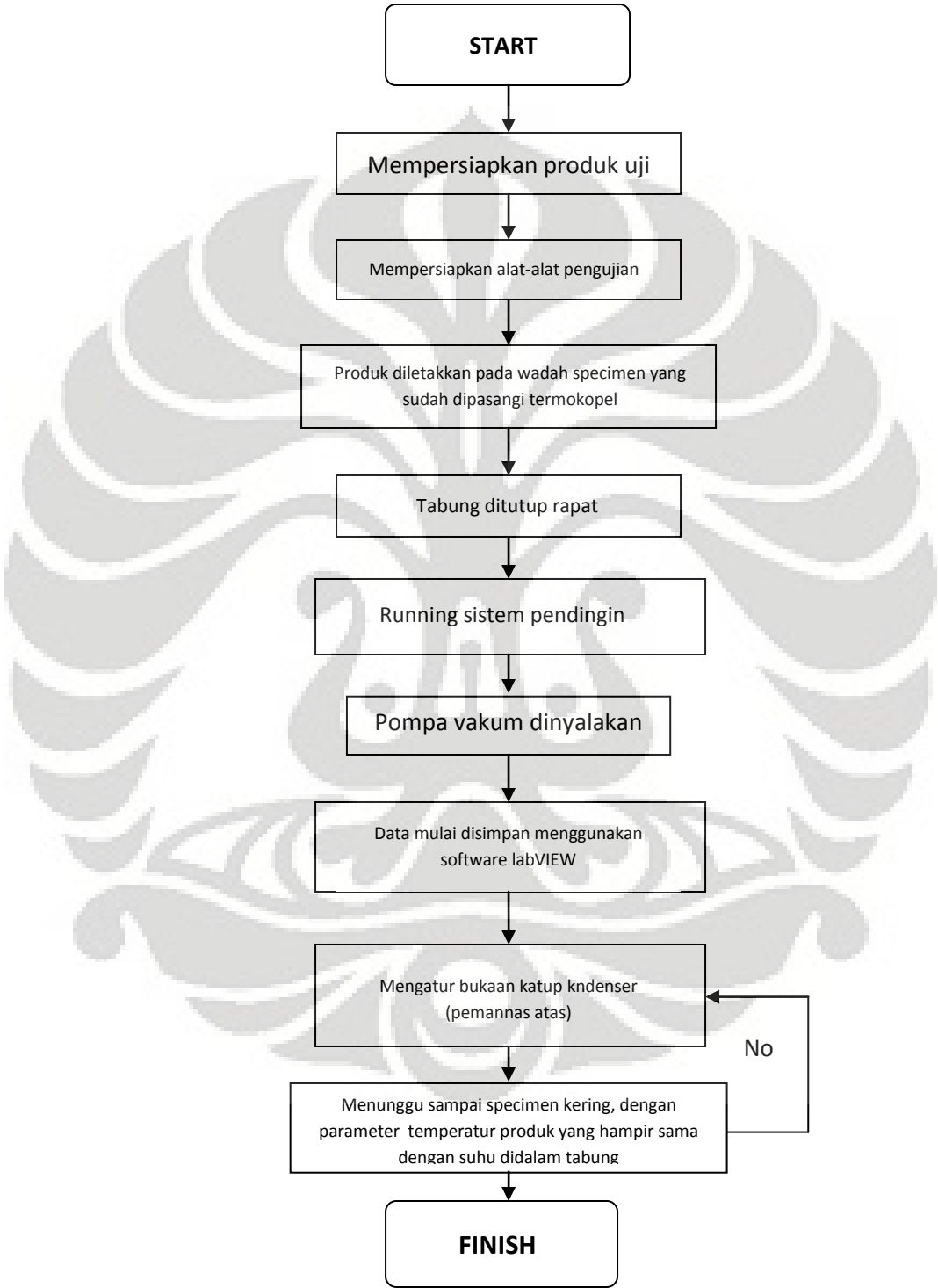
Kondisi operasi pengujian disesuaikan pada saat pengujian, dimana batasan-batasan diperoleh dari percobaan sebelumnya dengan melihat kinerja alat *freeze vacuum drying*.

- Kondisi Operasi Pengujian :
  - Batasan temperatur pendinginan :  $-18^{\circ}\text{C} - -30^{\circ}\text{C}$  .
  - Batasan tekanan operasi *chamber* : 0.1 mbar – 5 mbar.
  - Batasan temperatur pada *chamber* :  $25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$ .
  - Batasan temperatur evaporator :  $\leq -10^{\circ}\text{C}$  (tidak boleh mencapai nilai positif).
- Produk :
  - Nama spesimen : Lidah Buaya
  - Bentuk / dimensi : Blender
  - Massa Awal : 77.26 gr
  - Kandungan : Air 98.7% (uji proksimat dilaboratorium analisis komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000).
- Sebagai bahan pembanding
  - Nama spesimen : Lidah Buaya
  - Bentuk / dimensi : Dadu ( $\pm 1$  cm)
  - Massa Awal : 55.62
- Lama Pengujian : 8.5 Jam (11.30 – 20.00)

### III.3.7. Hasil Pengujian

Setelah melakukan pengujian selama kurang lebih dua minggu, maka berhasil didapatkan pengolahan data dan analisa seperti pada bab 4.

**III.4. Diagram Alir Pengujian**





# BAB IV

## ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

### 4.1 Analisa Dan Pengolahan Data

Analisa dan pengolahan data ini diperoleh dari pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui proses pengeringan beku dengan pemvakuman dengan memanfaatkan panas condenser.

### 4.2 Pengolahan Data

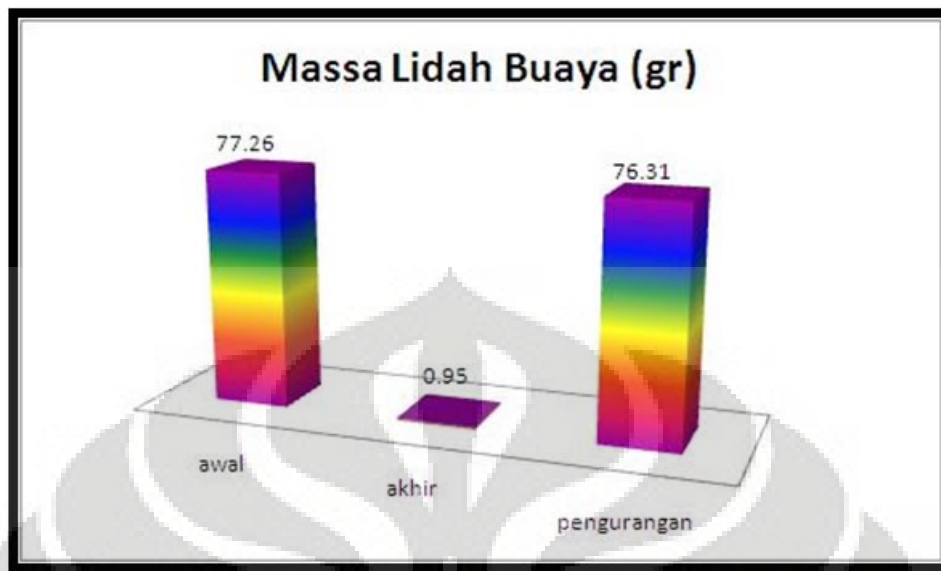
Data ini diambil penulis saat melakukan pengukuran sebelum dan sesudah pengujian. Produk lidah buaya (aloe vera), diukur dengan menggunakan timbangan digital dengan ketelitian 2 angka dibelakang koma dengan satuan gram, type AND Ek 300i dengan batas kemampuan 300 gr.

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

Data 1 : Produk Aloe Vera yang diblender.

<b>Kondisi</b>	<b>Massa Lidah Buaya (gr)</b>
	<b>Blender</b>
Awal	77.26
Akhir	0.95
Pengurangan	76.31

Tabel 4.1 Data massa lidah buaya yang dilbender sebelum dan sesudah pengujian.

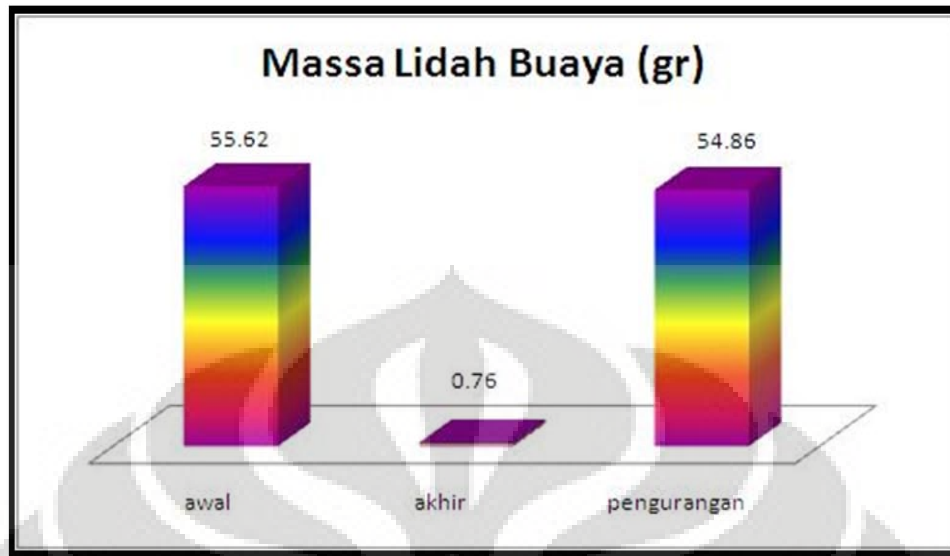


Gambar 4.1. Grafik perubahan massa lidah buaya yang diblender sebelum dan sesudah pengujian.

Data 2 : Produk Aloe Vera yang dipotong bentuk dadu ( $\pm 1$ cm).

Kondisi	Massa Lidah Buaya (gr)
	Dadu
Awal	55.62
Akhir	0.76
Pengurangan	54.86

Tabel 4.2. Data massa lidah buaya yang dipotong dadu sebelum dan sesudah pengujian.



Gambar 4.2. Grafik perubahan massa lidah buaya yang dipotong dadu sebelum dan sesudah pengujian.

- Kandungan massa air pada bahan :

⊙ Blender :

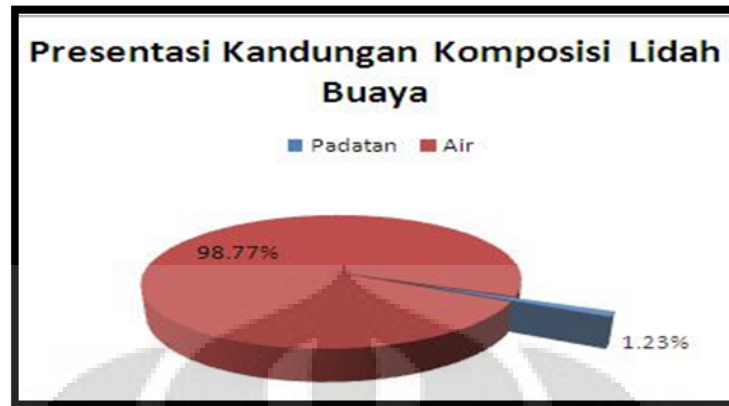
Kadar air lidah buaya : 98.7% (Uji proksimat komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000).

Massa awal : 77.26 gr x 0.987 = 76.25562 (kadar air %)

Massa akhir : 0.95 gr x 0.987 = 0.93765 (kadar air %)

Pengurangan : 75.31797 (kadar air %)

Maka :  $\frac{75.31797}{76.25562} = 0.9877 = 98.77\% \gg$  kadar air yang dikeringkan



Gambar 4.3. Grafik perubahan kandungan komposisi lidah buaya yang diblender setelah pengeringan.

⊙ Dadu :

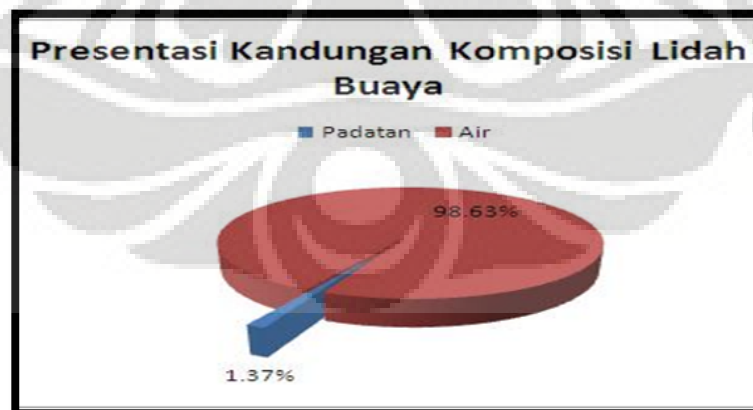
Kadar air lidah buaya : 98.7% (Uji proksimat komoditi industri hasil pertanian Bogor, 25 April 2000).

Massa awal : 55.62 gr x 0.987 = 54.89694 (kadar air %)

Massa akhir : 0.76 gr x 0.987 = 0.75012 (kadar air %)

Pengurangan : 54.14682 (kadar air %)

Maka :  $\frac{54.14682}{54.89694} = 0.9863 = 98.63\% \gg$  kadar air yang dikeringkan



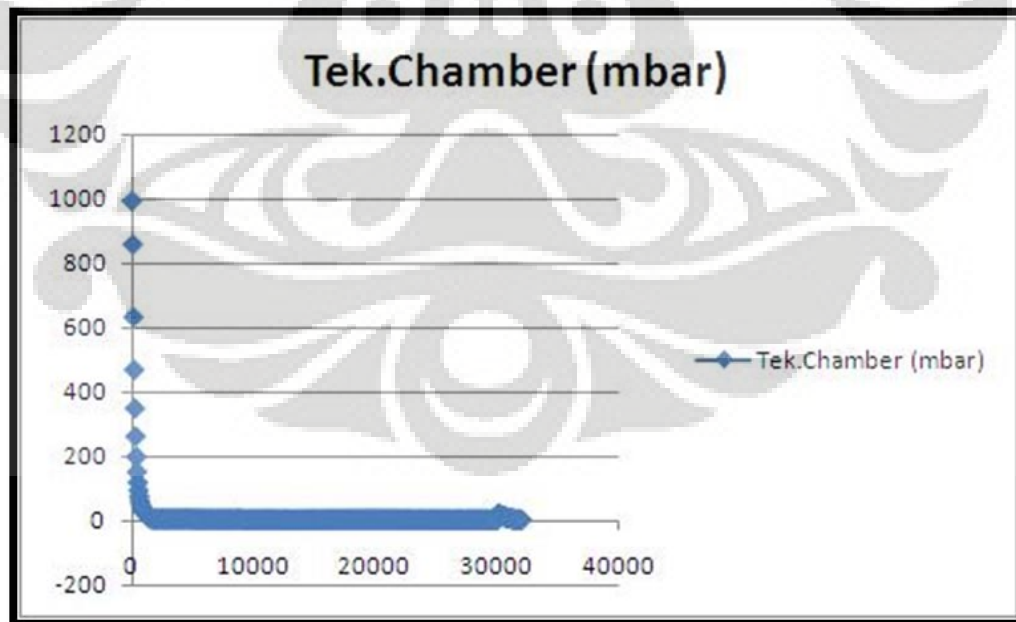
Gambar 4.4. Grafik perubahan kandungan komposisi lidah buaya yang dipotong setelah pengeringan.



Gambar 4.5. Hasil pengeringan (aloe vera)

#### 4.2.1 Pengaruh Pemvakuman Terhadap Tekanan Didalam Tabung

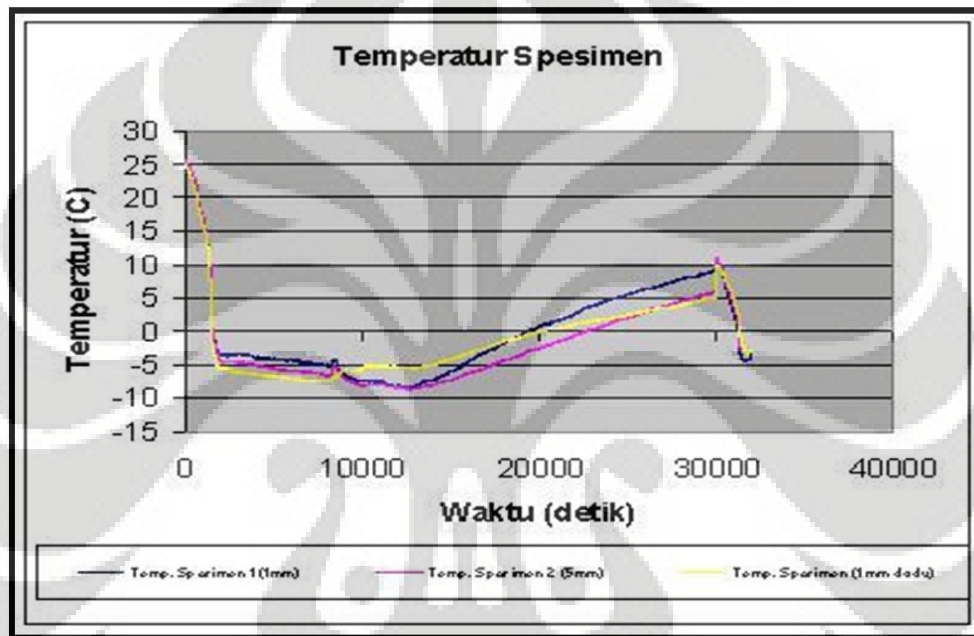
Dari grafik dibawah dapat dilihat bahwa temperatur turun seiring dengan pompa vakum dinyalakan tetapi setelah itu cenderung stabil karena sudah tidak ada lagi udara didalam tabung (hampa). Hanya saja pompa vakum harus terus dinyalakan supaya tetap menjaga tekanan didalam tabung tetap stabil, bila pompa vakum dimatikan tekanan akan cenderung naik karena terdapat sedikit kebocoran didalam tabung.



Gambar 4.6. Grafik Tekanan *Chamber* Vs Waktu

#### 4.2.2. Pengaruh Ketebalan Produk Terhadap Waktu

Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya akan terjadi perbedaan temperatur produk dengan ketebalan yang berbeda, hal ini disebabkan karena adanya perpindahan panas yang berbeda pada produk dengan ketebalan yang berbeda. Jika ketebalan produk semakin besar maka waktu yang diperlukan untuk mengeringkan produk tersebut juga semakin lama karena jarak perpindahan panas dan massa rambatannya semakin jauh.

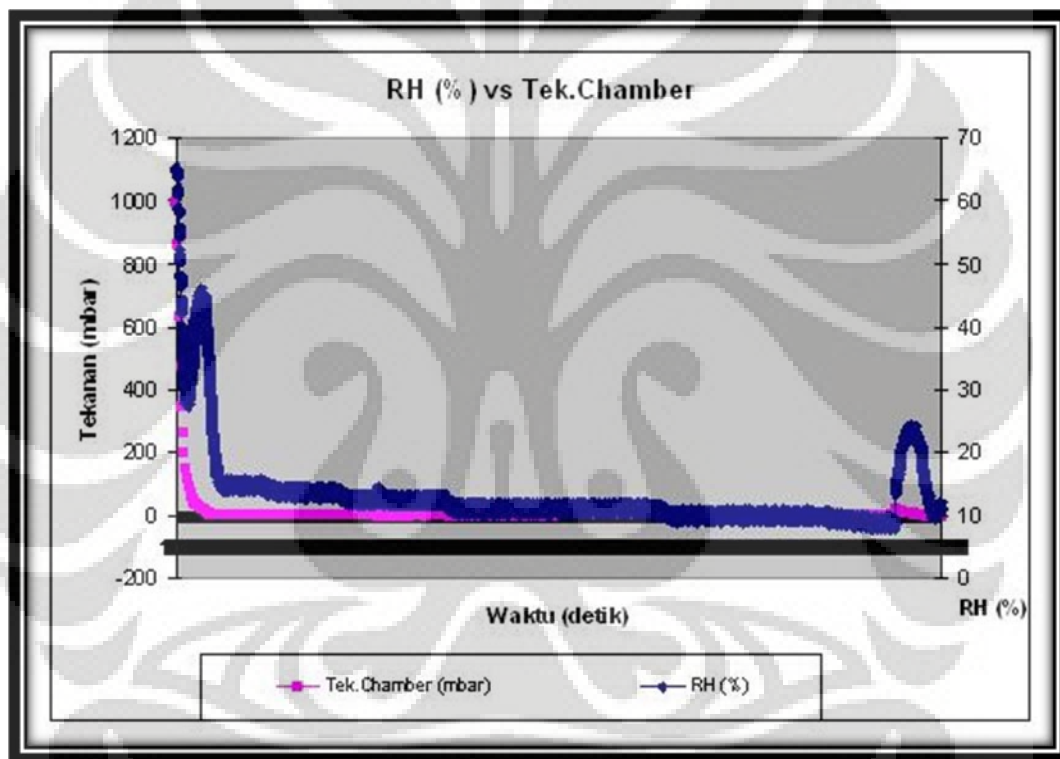


Gambar 4.7. Grafik Waktu Vs Temperatur Produk Dengan Ketebalan 1 mm dan 5 mm

Pada saat pengujian temperatur dan tekanan sering terjadi fluktuasi karena adanya kebocoran sehingga sistem tidak stabil. Untuk itu hasil pengukuran juga seringkali mengalami perubahan-perubahan. Pada saat proses pembekuan selesai pada grafik terlihat sudah mulai tidak teratur hal ini diakibatkan pada saat pengujian penulis sempat membuka tabung vakum karena ada kecurigaan bahwa specimen terhisap pompa vakum karena saat pengujian data pada komputer nilai bacaannya relatif naik terus. Hal ini ternyata diakibatkan oleh daya pemvakuman pada produk hanya dapat mencapai -8, maka setelah itu tanpa pemanasan sekalipun specimen dapat sublimasi akibat beda temperatur yang cukup tinggi antara suhu produk dan suhu ruangan tabung.

#### 4.2.3. Pengaruh Tekanan Pemvakuman Terhadap Turunnya Nilai RH

Sebenarnya turunnya nilai RH lebih dipengaruhi dengan berkurangnya kadar air didalam tabung vakum pada saat proses pemvakuman dilakukan. Tetapi hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar dibawah ini, pada saat pemvakuman dilakukan kadar air didalam tabung vakum ikut berkurang karena terhisap oleh pompa vakum. Kadar air ini nantinya akan dijebak didalam evaporator karena bila tidak maka lama kelamaan pompa vakum akan rusak. Diakibatkan menempelnya kadar air didalam pompa vakum.

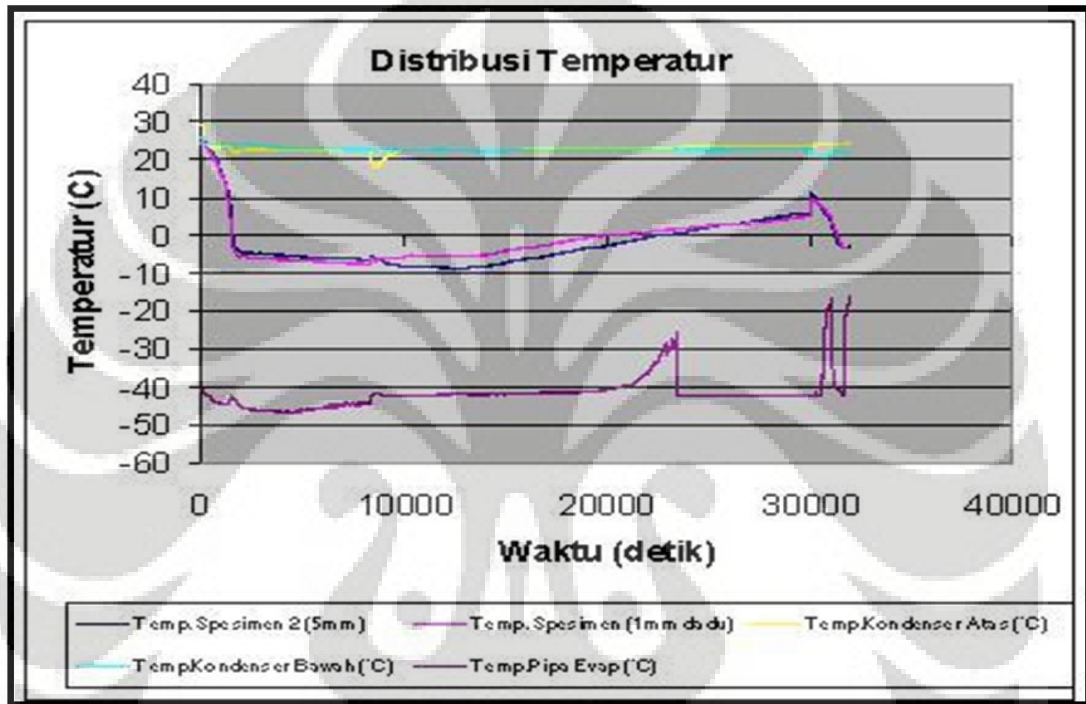


Gambar 4.8. Tekanan Tabung Vakum vs RH (%).

#### 4.2.4. Pengaruh Kinerja Cold Trap Yang Kurang Memadai.

Seperti pada bahasan sebelumnya dijelaskan bahwa pada alat freeze vacuum drying yang dibuat ini evaporator digunakan sebagai suatu alat yang berfungsi sebagai cold trap (perangkap uap air) hasil pengeringan didalam tabung vakum, selain untuk mempercepat laju

pembekuan dan mempertahankan temperatur didalam tabung. Akan tetapi kinerja dari cold trap ini bisa dibilang kurang memadai karena bila katup pemanas dari pemanfaatan panas buang kondenser dibuka sehingga temperatur dalam tabung naik dan laju pengeringan meningkat maka kinerja evaporator juga memburuk karena temperaturnya juga ikut naik sehingga kinerjanya sebagai cold trap kurang memadai. Hal ini dapat dilihat pada grafik, pada saat temperatur produk naik maka suhu pada evaporator ikut menjadi naik.



Gambar 4.9. Distribusi Temperatur

Temperatur produk berhubungan dengan kinerja evaporator, bila temperatur evaporator naik maka temperatur produk juga ikut naik. Bila temperatur produk naik maka laju pengeringan akan semakin meningkat.



## BAB V

### KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian pengujian dan analisa, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengeringan dengan vakum dapat diaplikasikan kepada bahan-bahan makanan penting yang mengandung air dan akan awet jika kandungan airnya dikeringkan tanpa merusak struktur bahan makanan itu. Bahan-bahan makanan itu berupa sayur-sayuran dan umbi-umbian seperti kentang dan sebagainya.
2. Terbukti bahwa bila tekanan diturunkan maka produk dapat membeku didalam tabung pengeringan.
3. Turunnya tekanan pemvakuman maka temperatur produk makin turun.
4. Waktu pembekuan produk akan berbeda pada ketebalan yang berbeda.
5. Hasil pengujian mendapatkan produk mempunyai kandungan air tidak lebih dari 5%, dan mempunyai struktur dan tampilan fisik yang baik.
6. Bila katup pemanas dibuka maka temperatur ditabung akan naik, serta temperatur evaporator ikut naik.

# LAMPIRAN

## 1. Pengenalan Tentang LabVIEW 8.5

LabVIEW 8.5 (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench Versi 8.5) adalah software aplikasi untuk pengukuran dan otomasi sistem berbasis komputer yang dikembangkan oleh National Instruments (NI), Amerika yang diluncurkan pada tahun 2007. Software ini dirancang sangat multiguna, mulai dari skala pemakaian untuk laboratorium akademik, sampai industri manufaktur besar yang menerapkan sistem DCS (Distributed Control System) maupun SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). LabVIEW dapat berinteraksi langsung dengan peralatan akuisisi data, PLC dan sistem mikrokontroler melalui komunikasi data serial USB, RS-232, RS-485, GPIB dan jenis lainnya. LabVIEW 8.5 dapat dioperasikan pada sistem komputer Core to Duo dengan sistem operasi Windows XP maupun Vista.

LabVIEW 8.5 terdiri dari beberapa jenis, diantaranya adalah Full Development System With Math Script (FDSM). Jenis ini telah dilengkapi dengan semua asesoris diantaranya Advanced Signal Processing, Image Processing, PID Control, State Diagram, Report Generation, VI Analyzer, Express VI Development dan Enterprise (Internet, Database Connectivity dan OPC). Kemampuan aplikasi dari LabVIEW 8.5 FDSM ini sangat bergantung pada kemampuan orang yang mengembangkannya. Umumnya setiap individu mengembangkan secara spesifik sesuai dengan kebutuhannya, antara lain:

- signal dan image processing banyak dikembangkan untuk instrumentasi medis, pengukuran vibrasi pada mesin, pengujian produk dan sebagainya;
- PID Control dan State Diagram banyak dikembangkan untuk sistem otomasi mesin-mesin produksi;
- Enterprise dikembangkan untuk komunikasi data via database, ethernet maupun internet.

LabVIEW 8.5 FDSM dapat dijalankan pada komputer generasi IV maupun Core to Duo dengan RAM minimum 512 MB dengan sistem operasi Windows XP/Vista. Untuk kebutuhan report generation diperlukan software MS-Office 2003. Software ini juga dapat berinteraksi dengan Matlab, Visual Basic 6 dan Visual C++.

## 2. Front Panel LabVIEW

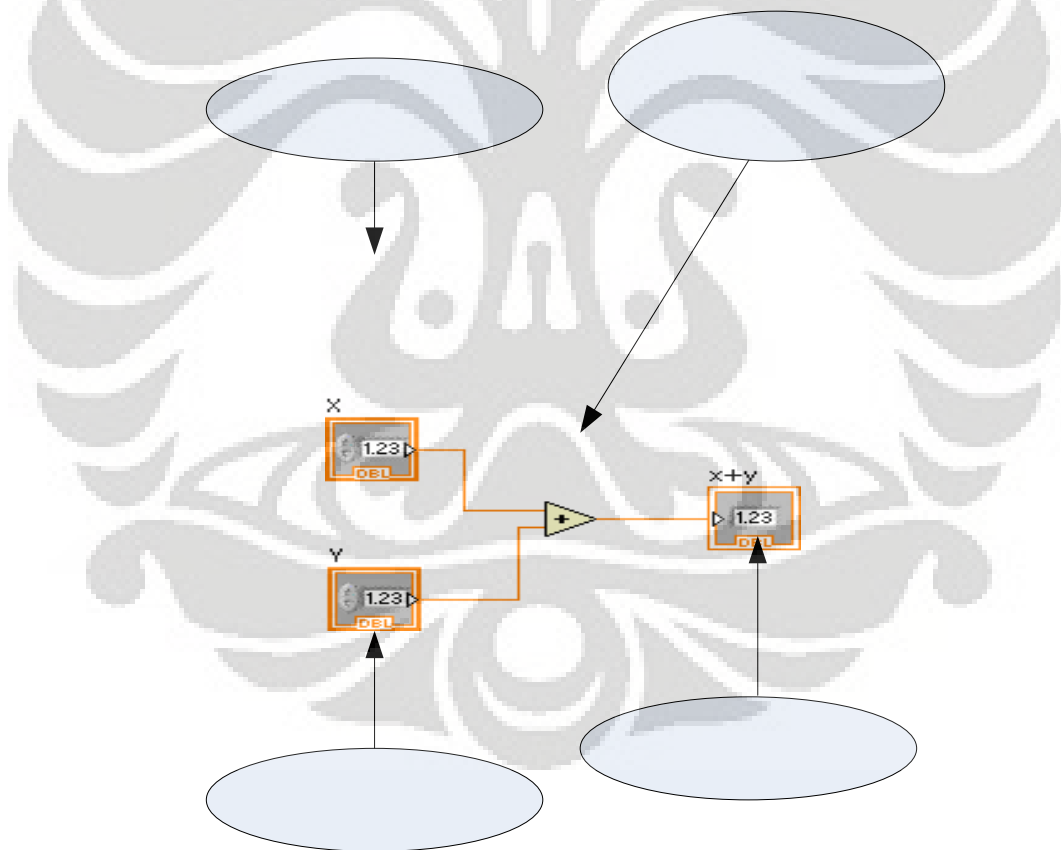
Panel monitor pada LabVIEW 8.5 berfungsi sebagai panel kontrol dan monitor sistem. Pengendalian dan pemantauan performa sistem dilakukan melalui panel ini. Fungsi-fungsi kontrol dan indikator (numerik, string, signal dan boolean) ditempatkan pada front panel. Contoh front panel diperlihatkan pada gambar 2.1. Gambar-gambar dalam bentuk file jpg dapat dijadikan background pada front panel ini.



Gambar 2.1 Contoh front panel LabVIEW 8.5 untuk memantau level air

### 3. Block Diagram LabVIEW

Program yang menggambarkan keseluruhan proses pada LabVIEW disebut sebagai Block Diagram. LabVIEW 8.5 adalah jenis G-software, yaitu software berbasis grafis. Setiap kontrol (input), indikator (output) dan fungsi proses digambarkan melalui simbol grafis tertentu yang memiliki terminal. Simbol kontrol memiliki terminal (konektor) di sisi kanan dan simbol indikator memiliki terminal di sisi kiri. Setiap fungsi proses memiliki terminal input di sisi kiri dan output di sisi kanan seperti diperlihatkan pada gambar 2.2. Antara fungsi yang satu dengan lainnya dihubungkan melalui pengawatan (wire). Warna kawat (wire) berbeda untuk setiap jenis data seperti diperlihatkan pada tabel 2-1. Contoh block diagram diperlihatkan pada gambar 2.3.

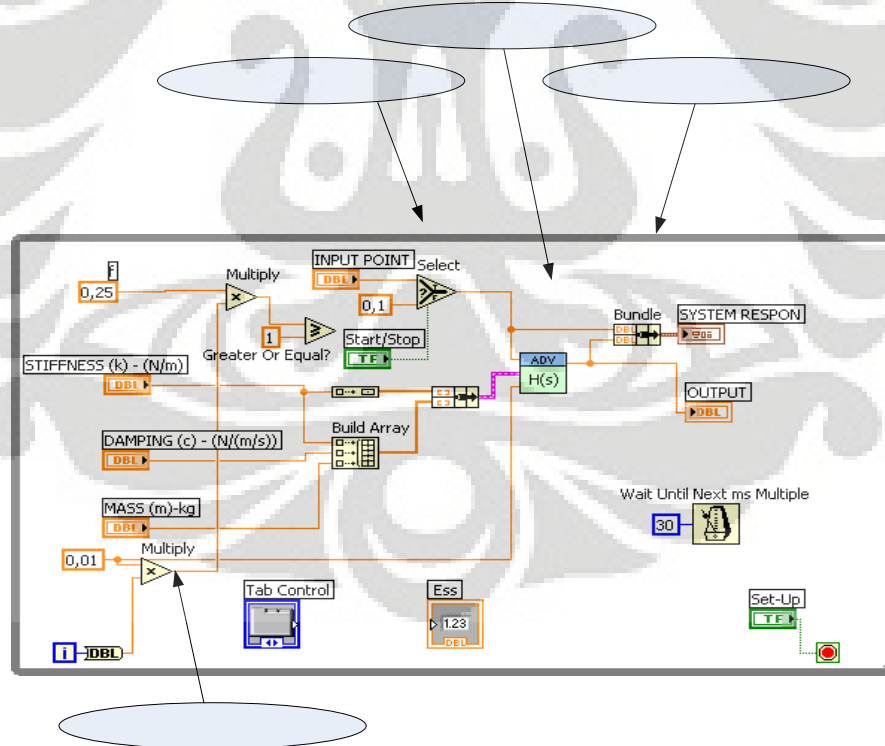


Gambar 2.2 Contoh simbol input, proses dan output

Tabel 2.1

Warna kawat (wire) dan jenis data

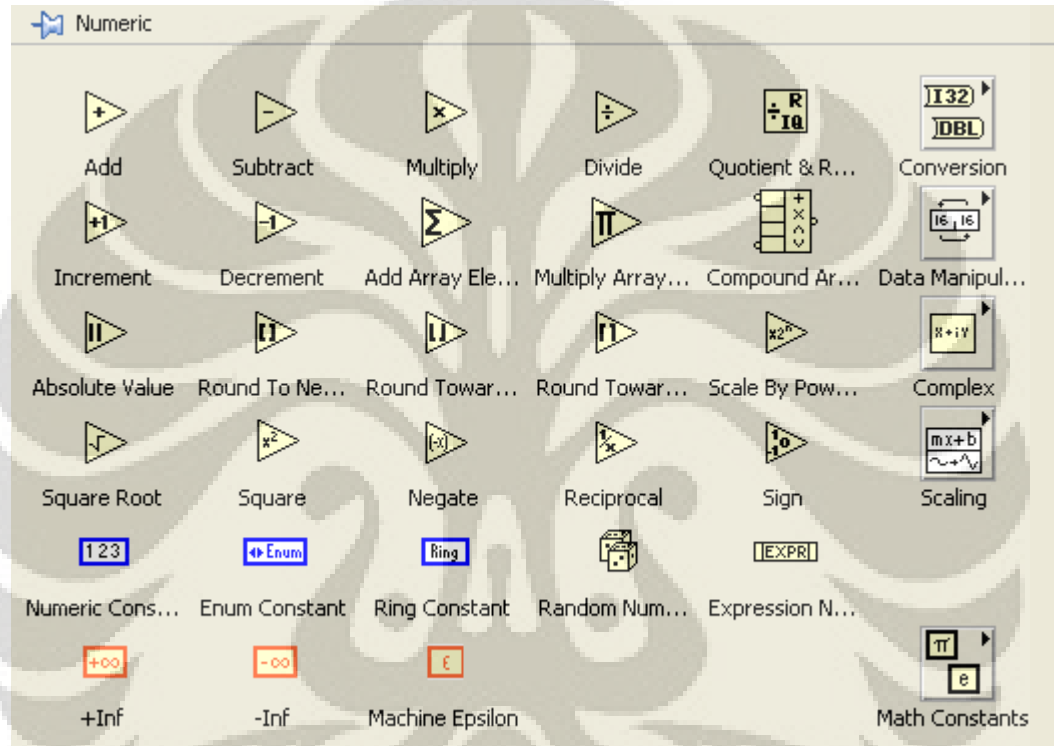
Warna Kawat	Jenis Data	Ukuran Data
Biru tipis	Bilangan bulat	Single
Biru tebal	Bilangan bulat	Array/Cluster
Orange tipis	Bilangan pecahan	Single
Orange tebal	Bilangan pecahan	Array/Cluster
Hijau tipis	Boolean	Single
Hijau tebal	Boolean	Array/Cluster
Pink tipis	String	Single
Pink tebal	String	Array/Cluster
Biru gelap tebal	signal	-



Gambar 2.2 Contoh bentuk program (Block Diagram) LabVIEW 8.5

#### 4. PROSES NUMERIK, BOOLEAN, STRING DAN SIGNAL

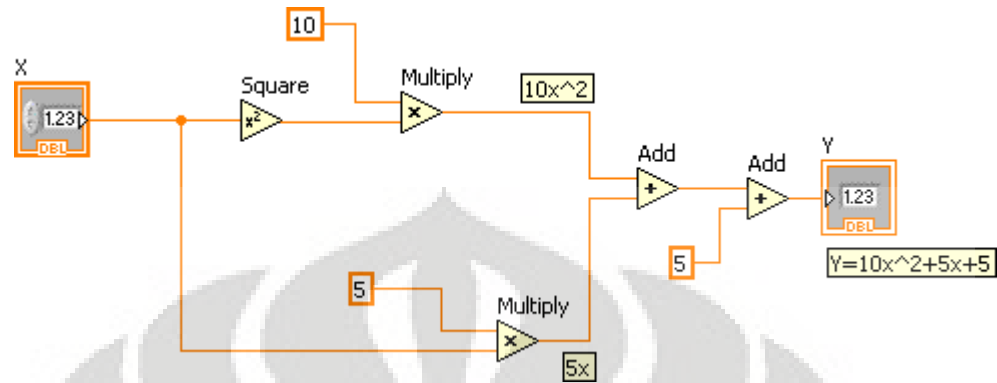
Proses NUMERIK pada LabVIEW 8.5 diantaranya penjumlahan (add), pengurangan (subtract), perkalian (multiply), pembagian (divide) dan sebagainya, seperti diperlihatkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Fungsi-fungsi numerik pada LabVIEW 8.5

Gambar 3.2 dan 3.3 diperlihatkan contoh block diagram untuk memproses persamaan:

$$Y = 10x^2 + 5x + 5$$



Gambar 3.2 Bentuk block diagram untuk proses numerik

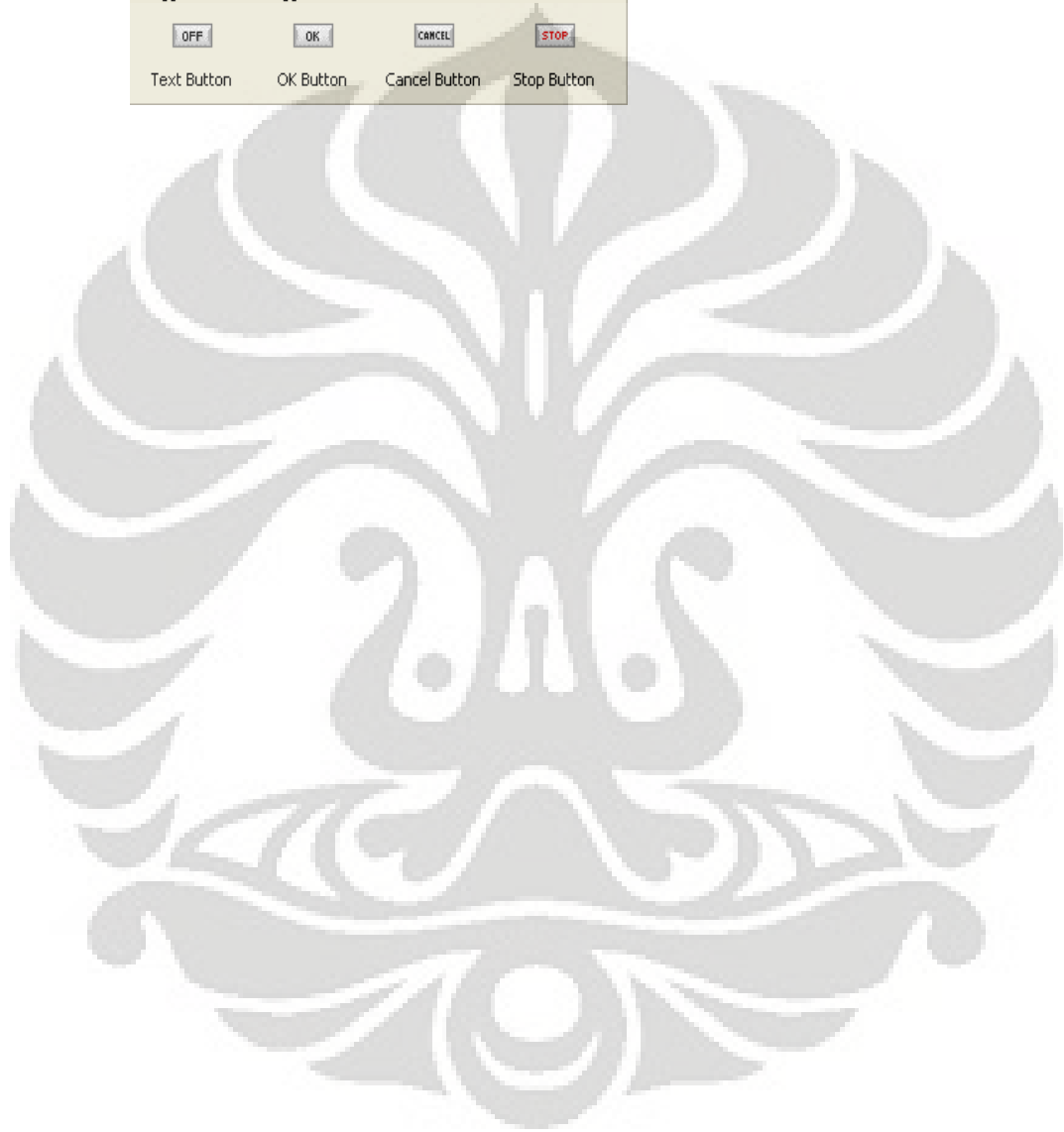
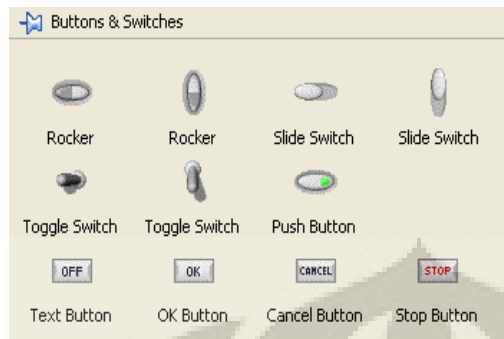
$$Y=10x^2+5x+5$$



Gambar 3.3 Bentuk tampilan front panel untuk proses numerik

$$Y=10x^2+5x+5$$

Fasilitas yang tersedia untuk proses BOOLEAN pada LabVIEW 8.5 diperlihatkan pada gambar 3.4, yaitu terdiri dari Kontrol (input) berupa saklar virtual dan indikator berupa LED (light emitting diode virtual). Sedangkan fungsi-fungsi boolean diantaranya terdiri dari AND, OR, INVERSE (NOT), dan sebagainya diperlihatkan pada gambar 3.5.

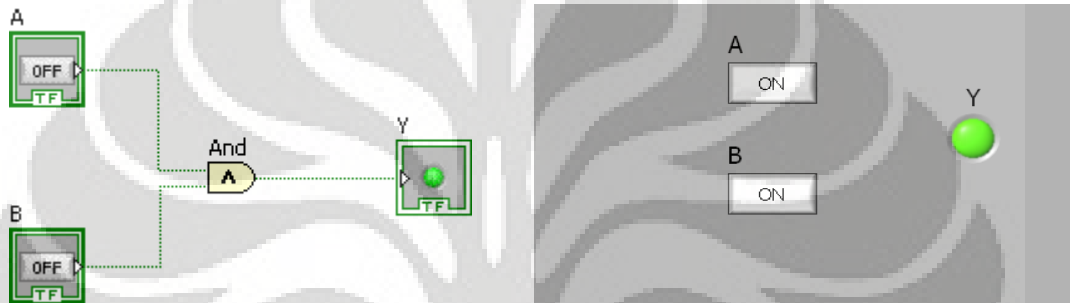




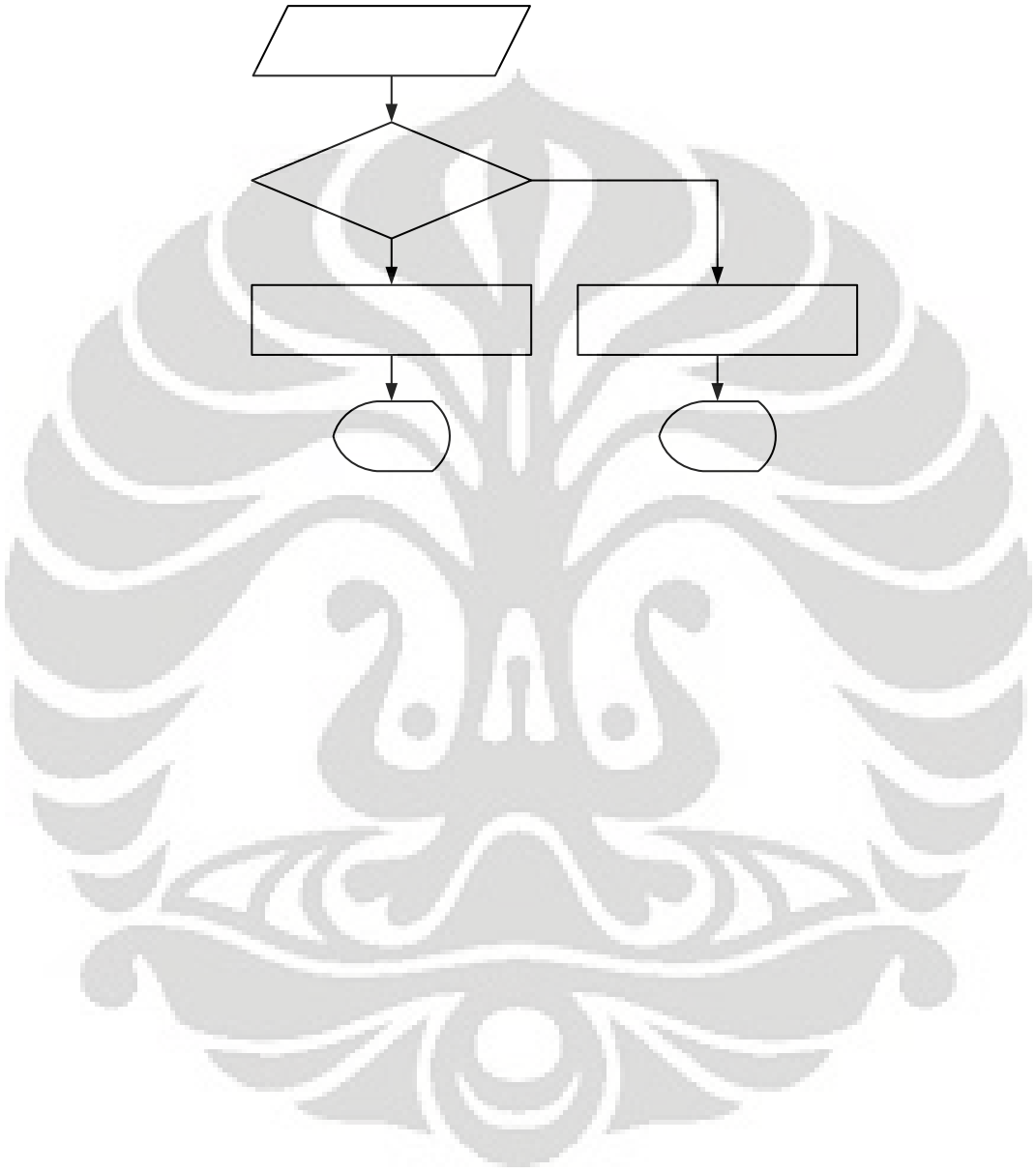
---

OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
ON	OFF	OFF
ON	ON	ON

---

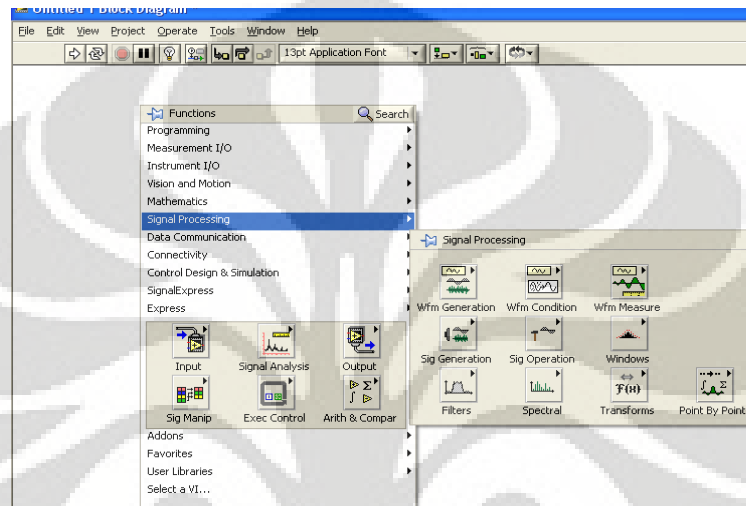


Pada gambar 3.8 diperlihatkan contoh flowchart, block diagram dan front panel untuk proses STRING, yaitu menampilkan pesan atau status input.



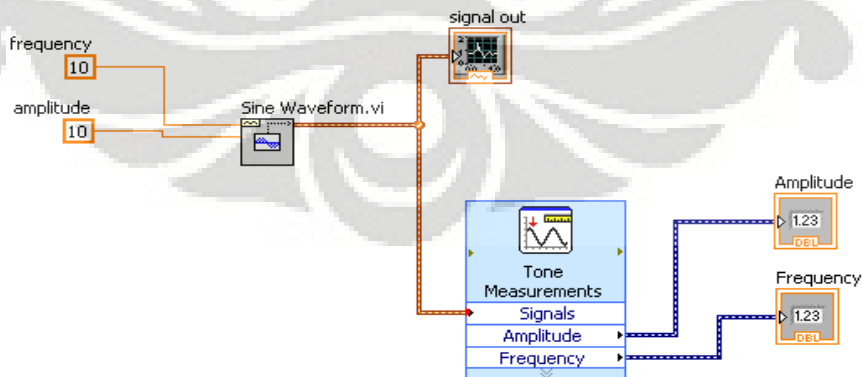
Fasilitas untuk membangkitkan atau memproses sinyal diperlihatkan pada gambar 3.9, antara lain:

- *Waveform generations* untuk membangkitkan berbagai bentuk sinyal;
- *Waveform measurements* untuk mengukur parameter sinyal;
- *Filters* untuk menyaring sinyal yang diinginkan.

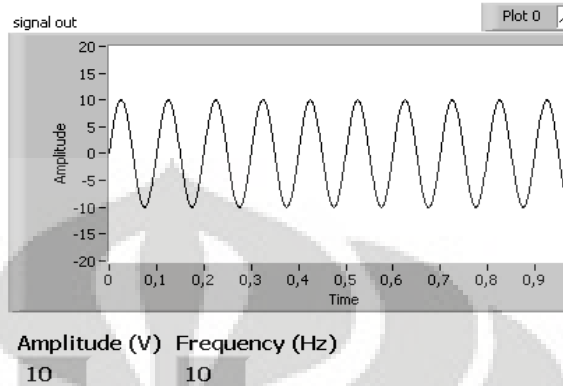


Gambar 3.9 Fasilitas untuk memproses SINYAL

Contoh diagram block dan front panel untuk mengukur tegangan maksimum ( $V_{peak}$ ) dan frekwensi sinyal diperlihatkan pada gambar 3.10 dan 3.11.



Gambar 3.10 Contoh diagram block pengukuran sinyal

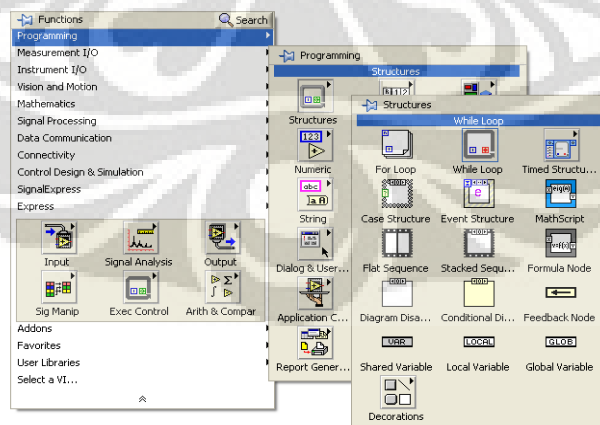


Gambar 3.11 Contoh front panel pengukuran parameter sinyal

## 5. PROGRAM LOOP

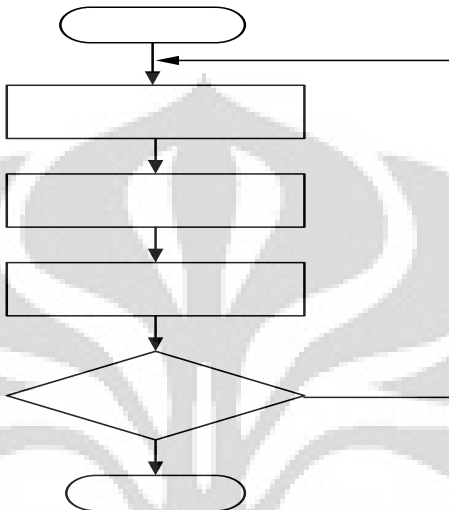
- WHILE LOOP

Program WHILE LOOP seperti diperlihatkan pada gambar 4.1, banyak digunakan pada sistem pengukuran antara lain untuk mengatur jumlah pengambilan sampel per satuan waktu secara kontinyu.

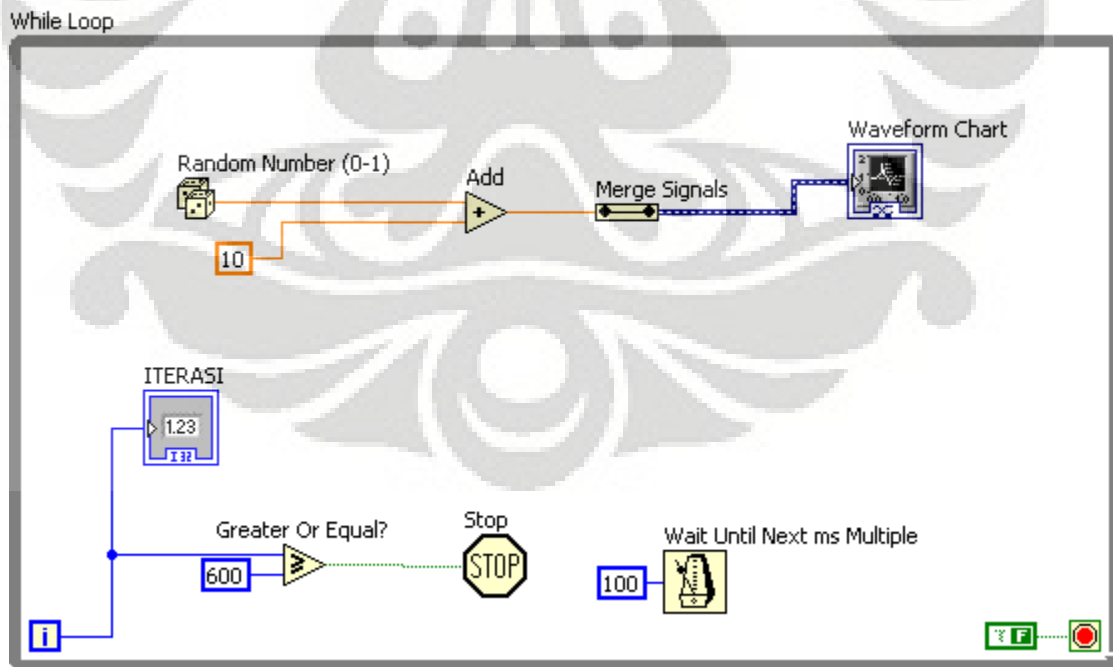


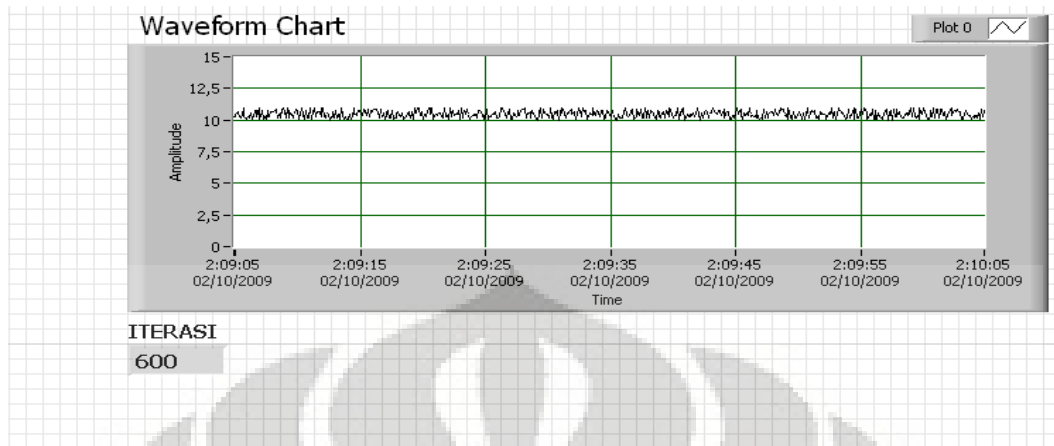
Gambar 4.1 WHILE LOOP function programming pada LabVIEW 8.5

Gambar 4.2 dan 4.3 memperlihatkan flowchart, block diagram dan front panel untuk pengukuran kontinyu dengan kecepatan 1 sampel/100 mdetik. Setelah 60 detik (600 sampel) maka sistem akan shutdown secara otomatis.



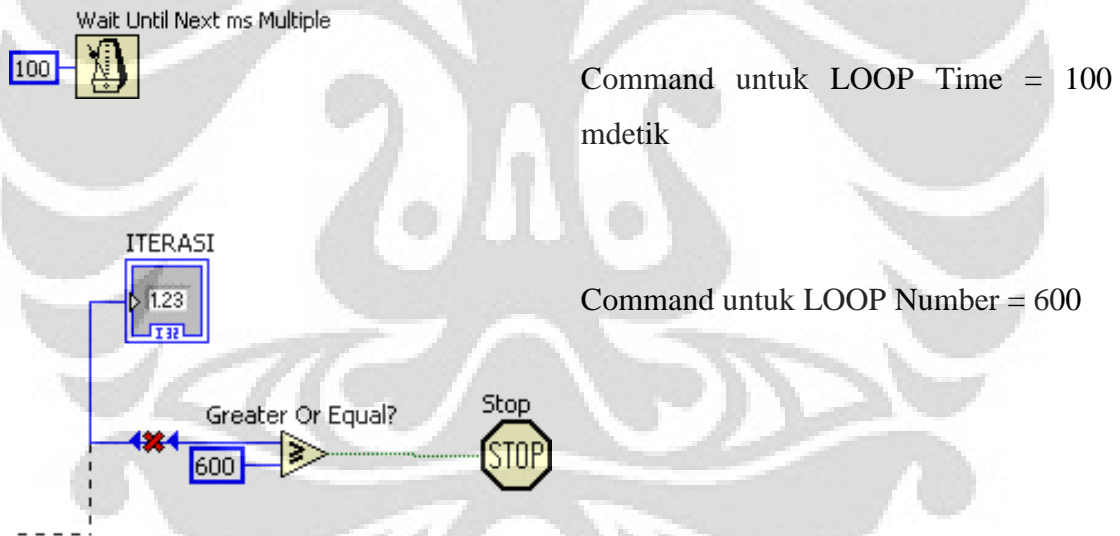
Gambar 4.2 Flowchart pengukuran kontinyu dengan kecepatan 1 sampel/100 mdetik sebanyak 600 sampel





ambar 4.3 Block diagram dan front panel pengukuran kontinyu dengan kecepatan 1 sampel/100 mdetik sebanyak 600 sampel

Keterangan:



- 4.2 FOR LOOP

Program FOR LOOP banyak digunakan pada sistem pengukuran antara lain untuk mendapatkan nilai rata-rata dari sejumlah data pengukuran. Pada gambar 4.4 diperlihatkan contoh program untuk mendapatkan nilai rata-rata dari setiap 10 sampel pengukuran dengan kecepatan 1 sampel per-detik.

