

PROYEK AKHIR - VM191879

# STUDI EKSPERIMEN MESIN PENDING BEKU UNTUK PENDINGAN CABAI DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN

**ROBBI GARETT BAGASKARA**

**10211810010011**

**Dosen Pembimbing :**

**M. Lukman Hakim, ST.,MT**

**19942019110070**

**Mashuri, S.Si., M.T**

**1991202011002**

**Program Studi Sarjana Terapan**

**Teknologi Rekayasa Konversi Energi Departemen Teknik Mesin**

**Industri**

**Fakultas Vokasi**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**2022**



PROYEK AKHIR - VM191879

## **STUDI EKSPERIMEN MESIN PENDING BEKU UNTUK PENDING CABAI DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN**

**ROBBI GARETT BAGASKARA**

**10211810010011**

**Dosen Pembimbing :**

**M. Lukman Hakim, ST.,MT**

**19942019110070**

**Mashuri, S.Si., M.T**

**1991202011002**

**Program Studi Sarjana Terapan**

**Teknologi Rekayasa Konversi Energi Departemen Teknik Mesin**

**Industri**

**Fakultas Vokasi**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**2022**



FINAL PROJECT - VM 191879

**EXPERIMENTAL STUDY OF FROZEN DRYER  
MACHINE FOR DRYING RED CHILLIES  
WITH VARIATION OF FREEZING TIME**

**Robbi Garrett Bagaskara**

**102118100000011**

**Advisor :**

**M. Lukman Hakim, ST.,MT**

**19942019110070**

**Mashuri, S.Si., M.T**

**1991202011002**

**Aplied Bachelor of Engineering**

**Mechanical Industrial Engineering Of Energy Conversion**

**Fakultas Vokasi**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**2022**

## LEMBAR PENGESAHAN

### STUDI EKSPERIMEN MESIN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN

#### PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh gelar sarjana terapan pada  
program studi D-4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi  
Departemen Teknik Mesin Industri  
Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **ROBBI GARETT BAGASKARA**

NRP . 10211810010011

Disetujui oleh Tim Penguji Proyek Akhir :

1. **M. Lukman Hakim, S.T., M.T.**  
NIP 19942019110070
2. **Mashuri, S.Si., M.T.**  
NIP 1991202011002
3. **Ir. Denny M E Soedjono, M.T.**  
NIP 195703311988031001



**SURABAYA**

**Juli, 2022**

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Robbi Garrett Bagaskara/ 10211810000011  
Departemen : Teknik Mesin Industri  
Dosen Pembimbing / NIP : M.Lukman Hakim,ST,MT/1994201910070

Dengan ini menyatakan bahwa proyek akhir dengan judul “STUDI EKSPERIMEN MESIN PENDING BEKU UNTUK PENDINGAN CABAI MERAH DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui

Dosen Pembimbing



(M. Lukman Hakim, ST., MT)  
NIP. 1994201910070

Surabaya, Juli 2022

Mahasiswa,



(Robbi Garrett Bagaskara)  
NRP. 10211810000011

# **STUDI EKSPERIMEN MESIN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI MERAH DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN**

Nama Mahasiswa : Robbi Garrett Bagaskara  
NRP : 10211810000011  
Dosen Pembimbing : 1. M. Lukman Hakim, ST., MT.  
2. Mashuri, S.Si., MT.

## **ABSTRAK**

Cabai memiliki sifat yang sangat mudah rusak dan bersifat musiman, sehingga setelah panen cabai merah harus segera habis terjual. Maka dari itu, diperlukan cara penanganan pascapanen dengan teknik yang sesuai untuk menjaga kualitas cabai. Banyak cara yang digunakan sebagai bentuk kegiatan pascapanen mulai dari membekukan cabai hingga menjemur cabai merah. Salah satu metode untuk mengeringkan cabai merah adalah metode pengeringan beku. Keuntungan pengeringan beku yaitu produk setelah dikeringkan tetap memiliki bentuk fisik yang menarik dibandingkan metode pengeringan lainnya.

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengujian kinerja mesin pendingin pada alat pengering beku untuk pengeringan cabai merah dan menganalisa kadar air cabai merah yang berkurang setelah proses pengeringan beku. Parameter yang digunakan dalam uji coba kadar air adalah temperature penghangatan hingga 50 °C, temperature pembekuan (-2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C), kebutuhan daya listrik, pengurangan massa produk dan waktu untuk proses pengeringan selama 4 jam. Sedangkan untuk pengujian kinerja mesin pendingin, parameter yang diamati meliputi waktu, daya menggunakan power meter, temperatur *inlet* dan *outlet evaporator*. dan temperatur *inlet* dan *outlet* kondenser.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan mesin pengering beku yang dengan suhu ruangan hingga -12 °C, tekanan pada ruang vacuum hingga 0,001 atm dan temperature penghangatan hingga 50 °C. Didapatkan juga laju pengeringan setelah pengeringan beku cabai pada suhu pembekuan -2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C adalah sebesar 0,2833 kg/menit dan tidak ada perubahan laju pengeringan pada setiap perbedaan suhu pembekuan dan dari hasil pengujian kinerja mesin pendingin didapat efisiensi mesin pendingin sebesar 79,82 % dan efisiensi mesin pengering beku pada suhu -2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C sebesar 2,37 % , 2,21 % , 2,2 % , 1,97 % . Sehingga efisiensi mesin pengering beku tertinggi ada pada suhu -2 °C dengan nilai 2,37 % .

Kata Kunci : pengeringan beku, cabai merah, moisture content

# **EXPERIMENTAL STUDY OF FROZEN DRYER MACHINE FOR DRYING RED CHILLIES WITH VARIATION OF FREEZING TIME**

Name : Robbi Garrett Bagaskara  
NRP : 10211810000011  
Lecturer : 1. M. Lukman Hakim, ST., MT.  
2. Mashuri, S.Si., MT.

## **ABSTRACT**

*Chili has a very perishable nature and is seasonal, so after harvesting red chili must be sold out immediately. Therefore, it is necessary to post-harvest handling with appropriate techniques to maintain the quality of chili. Many methods are used as a form of post-harvest activities, from freezing chillies to drying red chillies. One of the methods for drying red chillies is the freeze drying method. The advantage of freeze drying is that the product after drying retains an attractive physical shape compared to other drying methods.*

*This research was conducted by testing the performance of the cooling machine on a freeze dryer for drying red chillies and analyzing the water content of red chillies that decreased after the freeze-drying process. Parameters used in the water content test are heating temperature up to 50 °C, freezing temperature (-2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C), electrical power requirements, product mass reduction and time for the drying process for 4 hours. . Meanwhile, for testing the performance of the cooling machine, the observed parameters include time, power using a power meter, inlet and outlet temperatures of the evaporator. and condenser inlet and outlet temperatures.*

*Based on the results of the study, it was found that the freeze dryer was available with room temperature up to -12 °C , pressure in vacuum up to 0.001 atm and heating temperature up to 50 . The drying rate after freeze drying of chillies at freezing temperatures of -2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C is 0.2833 kg/minute and there is no change in drying rate for any difference in freezing temperature and from the results of performance testing. cooling machine obtained refrigeration machine efficiency of 79.82% and freeze-drying machine efficiency at temperatures of -2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C with a value 2.37%, 2.21%, 2.2% , 1 ,97%. So that the efficiency of the freeze dryer is highest at a temperature of -2 with a value of 2,37%..*

*Keywords : Freeze dryer, Red chillies, Moisture Content.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, berkah, dan hidayah-Nya tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Proyek akhir ini yang berjudul “**STUDI EKSPERIMEN MESIN PENDINGIN BEKU UNTUK PENDINGINAN CABAI MERAH DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMBEKUAN**”. Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua dan saudara yang selalu memberikan dukungan baik secara fisik dan mental, serta yang selalu sabar terhadap penulis.
2. Bapak M. Lukman Hakim ST., MT. dan Bapak Mashuri, S.Si., M.T. selaku dosen pembimbing, terima kasih atas segala ilmu yang telah diajarkan dan kesabarannya dalam membimbing, memberikan arahan, dan masukan proyek akhir ini.
3. Bapak Deddy Dzulhidayat Noor ST., MT., Ph.D selaku dosen wali.
4. Sahabat-sahabat saya yang selalu mendukung selama perkuliahan hingga menulis laporan proyek akhir.

Terima kasih atas dukungan dan nasehatnya selama ini. Penyusunan laporan ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan dan kekurangan dalam tulisan ini. Untuk itu, kritik dan saran yang membangun sangat penyusun harapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan tulisan saya kedepannya.

Surabaya, 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
ABSTRAK .....	iv
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR SIMBOL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu .....	4
2.1.1 Pengeringan Cabai Sebelumnya.....	4
2.1.2 Pengeringan Beku Sebelumnya.....	4
2.2 Cabai Merah .....	5
2.2.1 Kandungan Cabai Merah.....	6
2.2.2 Pembekuan Cabai Merah .....	6
2.3 Pengeringan beku .....	7
2.4 Sistem Refrigrasi .....	9
2.4.1 Siklus Ideal Sistem Refrigrasi .....	9
2.4.2 Perhitungan Sistem Refrigerasi.....	10
2.4.3 Komponen Sistem Refrigerasi .....	13

2.5	Kadar Air.....	14
2.6	Effisiensi Energi Mesin Pengering Beku .....	14
2.6.1	Energi Input.....	15
2.6.2	Energi Output .....	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....		17
3.1	Diagram Alir .....	17
3.2	Uraian Pengerjaan .....	18
3.2.1	Studi Literatur .....	18
3.2.3	Desain Kontruksi Alat.....	19
3.2.4	Pemilihan komponen.....	19
3.2.5	Asembly .....	19
3.3	Prosedur Penelitian.....	19
3.3.1	Pengujian Kinerja Mesin Pendingin .....	19
3.3.2	Uji Kadar Air Cabai Merah.....	20
3.4	Analisa Data .....	21
3.4.1	Kinerja Mesin Pendingin .....	22
3.4.2	Uji Kadar Air.....	22
3.5	Jadwal Kegiatan Proyek Akhir .....	22
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....		23
4.1	Desain, Pemilihan Komponen.....	23
4.1.1	Desain Kontruksi Alat.....	23
4.1.2	Pemilihan Komponen.....	23
4.2	Hasil Pengujian Mesin Pengering Beku.....	26
4.2.1	Pembekuan -2 °C.....	27

4.2.2 Pembekuan -4 °C.....	28
4.2.3 Pembekuan -6 °C.....	30
4.2.4 Pembekuan -8 °C.....	32
4.3 Moisture Content dan drying rate .....	34
4.4 Efisiensi Energi Mesin Pengering Beku .....	36
4.4.1 Kinerja Mesin Pendingin .....	36
4.4.2 Energi Input.....	40
4.4.3 Energi Output .....	41
4.4.4 Effisiensi Energi.....	43
5.1 Kesimpulan .....	45
5.2 Saran.....	45
DAFTAR PUSTAKA .....	46
LAMPIRAN.....	48
BIOGRAFI PENULIS .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Titik Triple Point (Gaidhani, 2015).....	7
Gambar 2. 2 Siklus Refigerasi Ideal (Fajar, 2020).....	9
Gambar 3. 1 Diagram alir .....	18
Gambar 4. 1 Desain Kontruksi Alat (A)Ruang Vakum, (B) Kompresor, (C) Kondensor, (D) Evaporator, (E) Pompa Vakum .....	23
Gambar 4. 2 Ruang Vakum .....	23
Gambar 4. 3 Kompresor.....	24
Gambar 4. 4 Kondensor .....	24
Gambar 4. 5 Pompa Vakum.....	25
Gambar 4. 6 Pipa Kapiler.....	25
Gambar 4. 7 Heater .....	26
Gambar 4. 8 Alat Pengering Beku .....	26
Gambar 4. 9 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -2 °C.....	28
Gambar 4. 10 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -4 °C... 29	
Gambar 4. 11 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -6 °C... 31	
Gambar 4. 12 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -8 °C... 34	
Gambar 4. 13 Drying Rate .....	36
Gambar 4. 14 Grafik Sistem Refrigerasi R134A Aplikasi Coolpack .....	38
Gambar 4. 15 Grafik Effisiensi Energi .....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kandungan 100 gram Cabai Merah.....	6
Tabel 3. 1 Pengujian Kinerja Mesin Pendingin.....	20
Tabel 3. 2 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir .....	22
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Mesin Pengering Beku.....	27
Tabel 4. 2 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -2 °C.....	27
Tabel 4. 3 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -4 °C.....	28
Tabel 4. 4 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -6 °C.....	30
Tabel 4. 5 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -8 °C.....	32
Tabel 4. 6 Hasil Pengurangan Massa Cabai.....	35
Tabel 4. 7 Analisa Moisture Content & Drying Rate.....	35
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sistem Pendingin .....	37
Tabel 4. 9 Data Temperatur, Tekanan, Entalpi, Entropi, Volume Spesifik .....	37
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Daya Listrik.....	41
Tabel 4. 11 Energi Input .....	41
Tabel 4. 12 Beban Uap Air & Panas Laten.....	42
Tabel 4. 13 Energi Output.....	42
Tabel 4. 14 Energy Input & Energy Ouput.....	43
Tabel 4. 15 Effisiensi Energi.....	43

## DAFTAR SIMBOL

$w$	Bobot sampel (gr)
$m$	Massa (kg)
$\dot{m}$	Laju Aliran Massa (Kg/s)
$\eta$	Efisiensi (%)
$W$	Daya (kj/s)
$Q$	Kalor (kj)
$COP$	Coefficient of Performance
$h$	Entalpi (kj/kg)
$P$	Tekanan (Bar)
$s$	Entropi (kj/(kg.K))
$V$	Volume Spesifik (m <sup>3</sup> /kg)
$T$	Temperatur (°C)

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Cabai merah merupakan komoditas agribisnis yang besar pengaruhnya terhadap dinamika perekonomian nasional sehingga dimasukkan dalam jajaran komoditas penyumbang inflasi yang terjadi setiap tahun. Umumnya permintaan cabai merah sangat sensitif terhadap perubahan kesegaran produk yang mana sifat cabai merah umumnya relatif cepat busuk sehingga petani dan pedagang tidak mampu menahan penjualannya terlalu lama (Suryati, 2019). Cabai memiliki sifat yang sangat mudah rusak dan bersifat musiman, sehingga setelah panen cabai merah harus segera habis terjual. Untuk menjaga dan mempertahankan kualitas hasil pertanian seperti halnya cabai merah, diperlukan cara panen dan penanganan pascapanen sesuai teknik yang baik (Setiadi, 1999).

Banyak cara yang digunakan sebagai bentuk kegiatan pascapanen untuk mengawetkan cabai merah. Mulai dari dengan membekukan cabai hingga menjemur cabai merah. Tetapi pengeringan cabai merah dengan cara dipanaskan atau dijemur dapat merusak bentuk fisik dari cabai merah. Dari banyaknya metode untuk mengeringkan cabai hanya satu tujuannya yaitu untuk mengurangi kadar air dari cabai merah. Terdapat 6 faktor utama yang dapat mempercepat proses pembusukan pada produk pangan yang salah satunya adalah kadar air. menyebutkan bahwa kadar air yang terdapat didalam 100 gram cabai merah adalah sebesar 90.9 gram. Oleh karena itu, semakin banyak kadar air maka akan semakin mempercepat kelembapan yang memudahkan produk mudah busuk (Herawati, 2008).

Salah satu metode yang tepat untuk mengurangi kadar air dalam cabai merah dan dapat dijadikan salah satu kegiatan pascapanen yaitu dengan metode pengeringan beku. Pengeringan beku vakum merupakan metode pengeringan yang memiliki keunggulan dibandingkan dengan metode pengeringan lainnya, terutama metode ini dilakukan pada suhu rendah untuk mengurangi kerusakan produk dari

suhu tinggi, dan produk yang dikeringkan memiliki fisik yang menarik. Dengan metode ini, kadar air produk dapat dikontrol selama proses, bahkan produk dapat kembali ke keadaan sebelum dikeringkan. (Maswan, 2012).

Berdasarkan permasalahan diatas untuk mengetahui apakah alat pengering beku vakum bekerja secara efektif dan sesuai dengan peruntukannya, maka dilakukan suatu uji kinerja alat ditinjau dari unjuk kerja mesin pendingin dan kadar air hasil pengeringan terhadap sampel cabai merah.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun Permasalahan yang ditinjau dari penelitian ini diantaranya :

1. Bagaimana desain alat pengering beku vakum cabai merah ?
2. Berapakah laju pengeringan alat pengering beku untuk pengeringan cabai merah ?
3. Berapakah efisiensi energi alat pengering beku untuk pengeringan cabai merah terhadap temperatur pembekuan ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah yang dijelaskan merupakan substansi dari rumusan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Proyek akhir ini berfokuskan hanya pada objek cabai merah,
2. Sistem yang dikatakan berhasil apabila memenuhi parameter keberhasilan.
3. Biaya dalam produksi alat tidak dibahas.
4. Proses pembuatan dalam produksi alat tidak dibahas.
5. Temperatur secondary drying 50 °C.
6. Waktu Pengeringan 4 jam.
7. Produk yang dikeringkan sebesar 25 gram

## **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Mendapatkan desain alat pengering beku pada cabai merah.
2. Menganalisa jumlah kadar air yang berkurang pada cabai merah setelah proses pengeringan beku vakum.

3. Menganalisa unjuk kerja mesin pendingin pada alat pengering beku vakum cabai merah.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

##### **2.1.1 Pengerinan Cabai Sebelumnya**

Evi dkk (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu pengerinan yang berbeda terhadap kualitas cabai rawit. Rancangan penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 3 pengulangan. Suhu pengerinan yang digunakan adalah T1 (50 °C), T2 (60 °C) dan T3 (70 °C). Parameter penelitian terdiri dari susut bobot, kadar air, vitamin C serta perubahan tekstur dan warna. Analisis data yang digunakan adalah analysis of Variance (ANOVA) yang dilanjutkan dengan uji berbeda nyata Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada taraf signifikansi 95%. Cabai rawit yang dikeringkan dengan suhu 50oC mampu menghasilkan kandungan vitamin C paling tinggi, yaitu sebesar 63,287 mg% serta tekstur dan warna sedikit mengalami perubahan. Suhu pengerinan 70 °C menghasilkan susut bobot paling tinggi, yaitu sebesar 12,133% dan menghasilkan kadar air paling rendah, yaitu sebesar 72,4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pengerinan berpengaruh terhadap perubahan kualitas cabai rawit yaitu dapat menurunkan susut bobot buah, kadar air cabai rawit, kandungan vitamin C, serta mempengaruhi warna dan tekstur (Parfiyanti, Budihastuti, & Hastuti, 2016).

##### **2.1.2 Pengerinan Beku Sebelumnya**

Martin dan januari (2014) melakukan pengerinan bekuang dengan system pengerinan beku vacuum. Pada penelitiannya dilakukan pengujian pengerinan beku vakum bekuang terhadap beberapa variasi. Variasi yang digunakan adalah perubahan temperature pembekuan dan jenis sampel berupa diiris-iris dan diblender. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pengerinan beku vakum dari setiap variasi yang dilakukan terhadap karakteristik pengerinan beku vakum, perubahan massa bahan, kadar air yang hilang, perubahan fase bahan. dari pengujian pengerinan beku vakum bekuang yang dilakukan dalam penelitian ini hanya mampu menghilangkan kadar air hingga 62% dan berdasarkan hasil pengujian pengerinan beku vakum bekuang yang dilakukan dan hasil

pengamatan serta analisis terhadap karakteristik pengeringan beku vakum dan karakteristik bengkang maka disimpulkan bahwa metode pengeringan yang mampu menghilangkan massa dan kadar air maksimum ialah metode pembekuan cepat, namun metode pengeringan yang menunjukkan proses sublimasi. (perubahan fase bahan dalam diagram fase) yang paling baik ialah metode dengan temperatur bahan dalam ruang pengering dijaga konstan  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Januari, 2014).

Purnamasari dan Fajar (2020) melakukan penelitian efisiensi mesin pengering beku vakum pada pengeringan cabai merah. Untuk pengujian kinerja mesin pendingin, parameter yang diamati meliputi waktu, temperatur inlet dan outlet evaporator. dan temperatur inlet dan outlet kondenser. Sementara untuk pengeringan, digunakan variasi temperatur penghangatan  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dan  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dalam penelitiannya secara berturut-turut, rata-rata dari COP aktual, COP Carnot, dan efisiensi refrigerasi dari mesin pendingin pengering beku vakum adalah 3,33; 6,18; dan 53,71%. Kemudian Cabai kering yang dihasilkan dari pengering beku vakum telah memenuhi kadar air yang sesuai dengan SNI No. 01-3389-1994, yaitu pada temperatur  $50^{\circ}\text{C}$  dan  $55^{\circ}\text{C}$  dengan kadar air 10,66% dan 9,50% (Purnamasari & Fajar, 2020).

Faturrohman dkk (2021) melakukan perhitungan efisiensi pengeringan beku vakum pada temperature  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kevakuman 0,03 atm. Dari hasil analisa dan pembahasan data hasil percobaan proses pengeringan pada berbagai variasi suhu pengeringan yaitu pada suhu  $0^{\circ}\text{C}$  dan  $-5^{\circ}\text{C}$  dengan kevakuman ruang pengering yang sama, yaitu 0,03 atm. Diperoleh nilai efisiensi energi mesin pengering vakum sebagai berikut 1,43 % dan 0,62 %. Nilai efisiensi energi mesin pengering vakum pada percobaan dengan suhu  $-5^{\circ}\text{C}$  lebih rendah (Faturrohman, 2021).

## **2.2 Cabai Merah**

Cabai merah besar (*Capsicum annum* L.) merupakan komoditas sayuran yang banyak mendapat perhatian karena memiliki nilai ekonomis yang cukup tinggi. Kebutuhan akan cabai terus meningkat setiap tahun sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk dan berkembangnya industri yang membutuhkan bahan baku

cabai. Tanaman cabai merah adalah tanaman perdu dengan rasa buah pedas yang disebabkan oleh kandungan capsaicin. Secara umum cabai memiliki banyak kandungan gizi dan vitamin, diantaranya kalori, protein, lemak, karbohidrat, kalsium, vitamin A, B1 dan vitamin C (Laely Fitri, 2015).

### 2.2.1 Kandungan Cabai Merah

*Tabel 2. 1 Kandungan 100 gram Cabai Merah*

Kandungan	Kadar
Air	90.9 g
Energi	36 kalori
Protein	1 gram
Lemak	0.3 gram
Karbohidrat	29 miligram
Serat	1.4 gram
Kalsium	29 gram
Fosfor	24 mg
Zat besi	0.5 gram
Natrium	23 mg
Kalium	272 mg
Seng	0.2 mg
Beta-karoten	5800 mikrogram
Niacin	3 mg
Vitamin C	18 mg

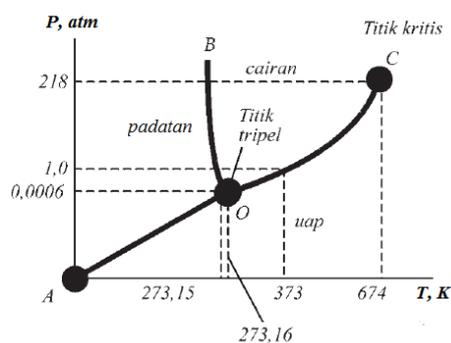
### 2.2.2 Pembekuan Cabai Merah

Pembekuan adalah penyimpanan bahan pangan dalam keadaan beku. Pembekuan yang baik biasanya dilakukan pada suhu -12 sampai -24°C. Pembekuan dapat dilakukan sebagai alternatif penyimpanan cabai merah segar saat harga cabai mengalami kenaikan yang sangat tinggi. bila cabai disimpan pada suhu 0°F atau -18°C atau suhu dibawah itu, maka cabai tersebut dapat memiliki masa simpan 8-12 bulan atau pada suhu yang lebih rendah (Laely Fitri, 2015).

### 2.3 Pengeringan beku

Pengeringan beku atau freeze drying merupakan teknologi pengeringan non termal dengan menggunakan suhu yang rendah. Alat yang digunakan dalam teknologi pengolahan ini disebut freeze dryer. Perbedaan pengeringan beku dengan teknologi pengeringan lain adalah mekanisme dalam menghilangkan kandungan air didalam bahan pangan. Penghilangan kandungan air dalam teknologi ini terjadi pada suhu yang rendah, melalui mekanisme sublimasi, langsung dari bentuk fase padat air (es) ke bentuk gas. Produk pengeringan beku mempunyai beberapa kelebihan diantaranya meminimalkan penyusutan dan perubahan struktural, menghilangkan air lebih cepat, mempertahankan zat gizi dan perubahan minimal pada bau, rasa dan warna (Gaidhani, 2015). Bahan pangan yang sesuai untuk dilakukan proses pengeringan beku, diantaranya produk pangan dalam bentuk larutan, daging yang sudah diiris tipis, irisan buah/ sayuran, atau buah/sayuran utuh yang berukuran kecil (Shukla, 2011).

Prinsip freeze drying yaitu mengeringkan bahan pangan dengan menghilangkan kandungan air didalamnya melalui proses sublimasi kandungan air didalam bahan pangan yang sudah menjadi beku kemudian diubah menjadi gas. Sublimasi dapat terjadi ketika tekanan dan suhu permukaan es dibawah triple point (4,58 mmHg, 00C) (Gaidhani, 2015).



Gambar 2. 1 Titik Triple Point (Gaidhani, 2015)

Terdapat 4 tahap dalam pengolahan pengeringan beku, diantaranya persiapan bahan pangan, pembekuan, pengeringan primer, dan pengeringan sekunder. Tahap pertama dalam pengolahan freeze drying adalah persiapan bahan pangan. Pada

pengolahan buah, umumnya buah yang mempunyai ukuran besar atau mempunyai kandungan air yang tinggi seperti buah melon, semangka, mangga, nanas, atau jeruk diperlukan proses pengirisan tipis. Proses ini bertujuan untuk mempercepat proses pengeringan. Namun buah yang berukuran kecil dan mempunyai kandungan air yang rendah seperti berry, anggur atau durian dapat langsung diolah. Selain itu, untuk memperpanjang masa simpan dapat pula ditambahkan bahan lain seperti bulking agent, stabilizer, pengawet atau larutan osmotik.

Selanjutnya tahap kedua yaitu pembekuan. Tahap ini dilakukan dengan menurunkan suhu freeze dryer hingga  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pembekuan bertujuan untuk merubah fase air di dalam buah menjadi fase padat (es).

Selanjutnya setelah dilakukan pembekuan, pada tahap ketiga adalah proses pengeringan. Proses ini dilakukan dengan dua tahap yaitu Pengeringan primer dan pengeringan sekunder. Pengeringan primer bertujuan untuk menghilangkan kandungan air dalam buah yang telah dibekukan melalui proses sublimasi dengan meningkatkan suhu sampai  $0^{\circ}\text{C}$  serta menurunkan tekanan dalam alat dibawah triple point yaitu dibawah  $4,58\text{ mmHg}$  yang bertujuan agar gas yang terbentuk saat peningkatan suhu terbuang keluar. Setelah kandungan air telah keluar sekitar  $95\%$ , kemudian dilakukan pengeringan sekunder dengan meningkatkan tekanan, dan suhu pada kondisi normal  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dengan tujuan untuk mengkondisikan agar buah yang keluar dari alat tidak dalam kondisi beku atau dapat beradaptasi dengan suhu ruang.

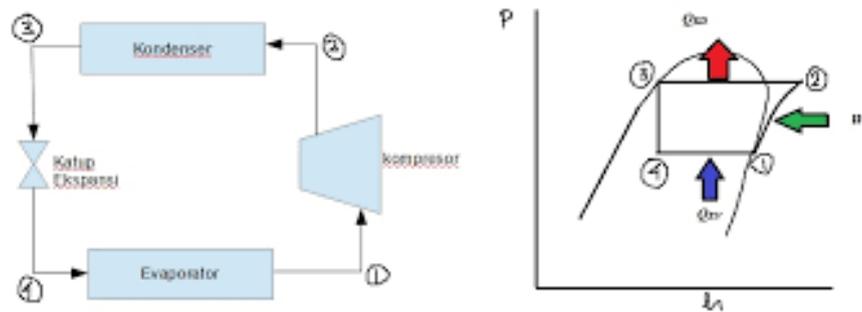
Produk yang telah dihasilkan dari proses freeze drying umumnya aktivitas enzimnya tidak mati, namun dalam kondisi inaktif sementara, dikarenakan rendahnya kandungan air didalam produk. Dengan hal tersebut menjadikan produk freeze drying dapat teroksidasi, apabila terpapar oksigen ( $\text{O}_2$ ). Oleh karena itu dalam pengolahannya produk yang telah dihasilkan harus segera dikemas menggunakan kemasan yang melindungi dari  $\text{O}_2$  seperti menggunakan bahan alumunium, atau plastik. Serta lebih baik menggunakan metode vacuum packaging agar meminimalisir udara di dalam kemasan (Shukla, 2011).

## 2.4 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.

### 2.4.1 Siklus Ideal Sistem Refrigerasi

Siklus ideal sistem refrigerasi merupakan pengembangan dari *reversedcarnot 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. 2 Siklus Refigerasi Ideal (Fajar, 2020)

Dengan penjabaran siklus untuk tiap-tiap langkah sebagai berikut:

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

Adapun prosesnya dapat dijelaskan secara lebih detail berikut ini :

1. 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.
2. Uap yang keluar dari kompresor dalam keadaan temperatur tinggi, di kenal

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.

3. *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  $x$  % liquid 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 akandidinginkan.
4. 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 kekompresor (Moran, 2004).

#### **2.4.2 Perhitungan Sistem Refrigerasi**

Analisa termodinamika sistem refrigerasi kompresi uap terdiri dari :

1. Daya Kompresor

Kerja kompresi/kebutuhan daya kompresor pada siklus ideal merupakan hasil kali laju aliran massa dengan kenaikan entalpi selama proses kompresi isentropik (Stoecker, 2005). Proses kompresi dianggap berlangsung secara

adiabatik yang artinya tidak ada kalor yang dipindahkan baik masuk maupun keluar sistem. Kerja kompresi dirumuskan sebagai berikut (Moran dan Shapiro, 2004).

$$Wk = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2.1)$$

$$Wk = h_2 - h_3 \quad (2.2)$$

Keterangan :

$Wk$  = Kerja Kompresor (kW)

$\dot{m}$  = Laju Aliran Massa (kg/s)

$h_2$  = Enthalphy pada titik 2 (kJ/kg)

$h_3$  = Enthalphy pada titik 3 (kJ/kg)

2. Kapasitas Kondensor (Moran dan Shapiro, 2004).

$$Q_e = \dot{m}(h_3 - h_2) \quad (2.3)$$

Keterangan :

$Q_e$  = Kapasitas Kondensor (kW)

$\dot{m}$  = Laju Aliran Massa (kg/s)

$h_2$  = Enthalphy pada titik 2 (kJ/kg)

$h_3$  = Enthalphy pada titik 3 (kJ/kg)

3. Laju Aliran Refrigerant (Moran dan Shapiro, 2004).

$$\dot{m} = \frac{Q_{pembekuan}}{h_1 - h_4} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$Q_{pembekuan}$  = Beban Pendingin (kW)

$\dot{m}$  = Laju Aliran Massa (kg/s)

$h_1$  = Enthalphy pada titik 1 (kJ/kg)

$h_4$  = Enthalphy pada titik 4 (kJ/kg)

4. Perhitungan Beban Pendingin (Moran dan Shapiro, 2004).

$$Q_{latent,subl.} = \dot{m} \times h_{ice,sat,vap.} \quad (2.5)$$

$$Q_{Pembekuan} = \frac{Q_{latent}}{t_{sublimation}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

$h_{ice,sat,vap.}$  = Entalpi Pembekuan (Lampiran) (kJ/kg)

$t_{sublimation}$  = Temperatur Sublimasi (°C)

5. Efek Refrigerasi (Moran dan Shapiro, 2004).

$$Q_{rf} = h_1 - h_4 \quad (2.7)$$

Keterangan :

$Q_{rf}$  = Kapasitas Evaporator (kW)

$h_1$  = Enthalphy pada titik 1 (kJ/kg)

$h_4$  = Enthalphy pada titik 4 (kJ/kg)

6. Efisiensi Refrigerasi (Moran dan Shapiro, 2004).

$$\eta_{ref} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Keterangan :

$\eta_{ref}$  = Efisiensi Refrigerasi (%)

$COP_{aktual}$  = *Coefficient of Performance Aktial*

$COP_{carnot}$  = *Coefficient of Performance Carnot*

7. *Coefficient of Performance (COP)*

Kinerja siklus refrigerasi biasanya dinyatakan dalam bentuk Coefficient of Performance (COP). Coefficient of Performance (COP) didefinisikan sebagai pemanfaatan dari siklus (jumlah panas yang dihilangkan) dibagi dengan energi yang dibutuhkan input untuk mengoperasikan siklus (Trott, 2000).

$$COP = \frac{Q_{rf}}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (2.9)$$

Keterangan :

$Q_{rf}$  = Kapasitas Evaporator (kW)

$W_k$  = Kerja Kompresor (kW)

Karena ada kerugian mekanis dan termal pada siklus nyata, koefisien kinerja (COP) akan selalu kurang dari COP Carnot ideal (Trott dan Welch, 2000).

Karena koefisien kinerja adalah energi yang diterima di evaporator dibagi dengan energi yang dipasok ke mesin, sehingga persamaan untuk siklus Carnot adalah (Stoecker, 2005) :

$$COP_{ca} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$T_e$  = Temperatur Evaporator (°C)

$T_c$  = Temperatur Condensor ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.4.3 Komponen Sistem Refrigerasi

a) Kompresor

Kompresor merupakan komponen yang penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mendorong gas *refrigerant* secara kontinyu 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 media pendingin dalam kondensor.

b) Kondensor

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. Berdasarkan kontak dengan fluida pendingin.

c) 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 type* dan *variable opening type* dimana pada jenis pertama luasan aliran *refrigerant* konstan sedangkan yang kedua luasan aliran berubah seiring dengan perubahan laju aliran massa.

d) Evaporator

Evaporator adalah suatu alat yang digunakan untuk memisahkan dua fasa

antara liquid gas dan liquid cair dengan menggunakan media pemanas. Dengan cara memanaskan hingga salah satu komponen menguap pada trayek didihnya, sehingga dapat terpisah dari komponen lainnya.

## 2.5 Kadar Air

Pengujian kadar air berdasarkan Standard Nasional Indonesia (SNI) No. 01-2891-1992 dibagi menjadi dua yaitu metode oven dan metode destilasi. Metode oven adalah suatu metode pengujian dengan mengeringkan produk kemudian menghitung berdasarkan bobot produk sebelum dan sesudah dikeringkan. Kadar air produk dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Badan\_Standarisasi\_Nasional, 2019):

$$MC1 = \frac{\text{Massa setelah pengeringan beku} - \text{Massa solid}}{\text{Massa basah}} \times 100 \% \quad (2.11)$$

$$MC2 = \frac{\text{Massa basah} - \text{Massa solid}}{\text{Massa basah}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

$$\text{Drying rate} = \frac{MC1 - MC2}{\text{Waktu pengeringan}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

MC1 : Bobot sampel sebelum dikeringkan (gr)

MC2 : Bobot sampel dan wadah kering (gr)

Drying rate : laju pengeringan (g/menit)

Massa solid : massa produk tanpa kadar air (gr)

Massa basah : massa produk awal sebelum dikeringkan (gr)

## 2.6 Efisiensi Energi Mesin Pengering Beku

Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah energi untuk menguapkan air bahan dengan energi yang dihasilkan dari energi listrik, unjuk kerja atau efisiensi pada umumnya dapat diekspresikan menjadi (Faturrohman, 2021)

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.14)$$

### 2.6.1 Energi Input

Untuk menghitung nilai konsumsi besar energi listrik dapat menggunakan persamaan berikut (Faturrohman, 2021) :

$$Q_{in} = Q_{listrik} \times t \quad (2.15)$$

Keterangan :

$Q_{in}$  : Energi listrik yang digunakan (kj)

$Q_L$  : Konsumsi energi listrik (kW)

$t$  : Lama waktu pemakaian energi listrik (detik)

### 2.6.2 Energi Output

Untuk menguapkan kandungan air yang terkandung pada bahan uji maka diperlukan adanya energi. Energi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Faturrohman, 2021):

$$Q_{out} = E \times H_{lb} \quad (2.16)$$

Keterangan :

$Q_{output}$  : Energi untuk menguapkan air bahan (kj)

$E$  : Beban uap air (Kg)

$H_{lb}$  : Enthalphy (kj/kg) didapatkan dari tabek thermodinamika

Untuk menghitung besar beban uap air yang harus diuapkan alat pengering vakum selama proses pengeringan, dapat menggunakan persamaan berikut (Faturrohman, 2021):

$$E = \frac{(MC1 - MC2) \times 100}{(100 - MC1) \times (100 - MC2)} \times Wd \quad (2.17)$$

Keterangan :

$E$  : Beban uap air (kg)

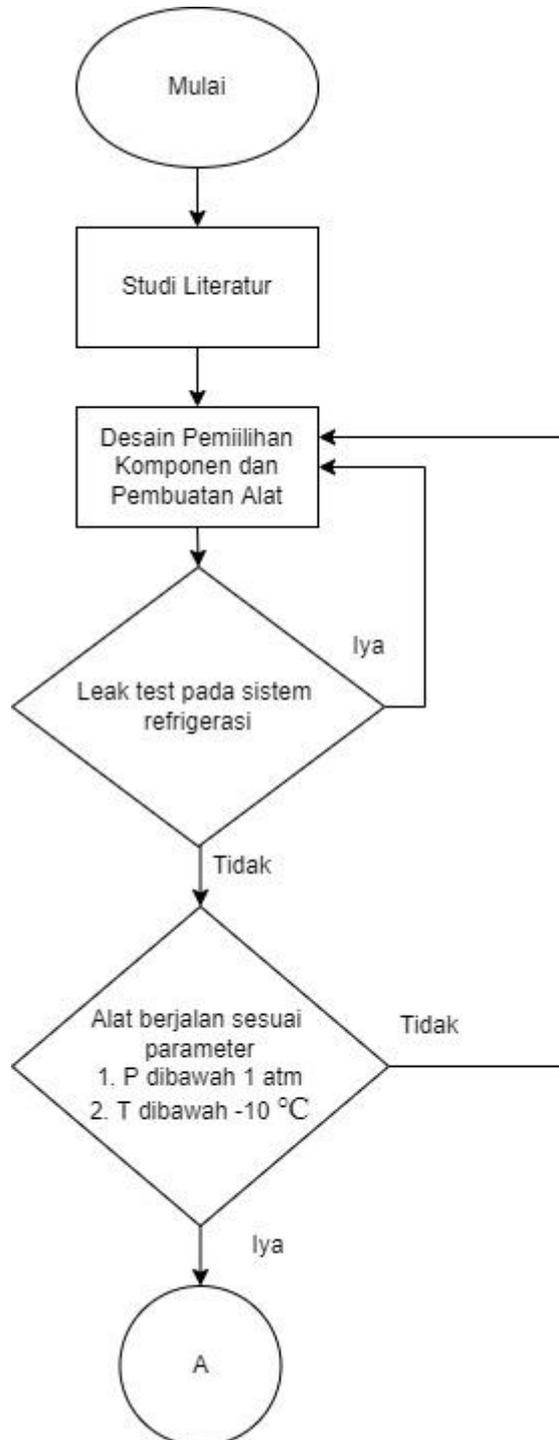
$MC1$  : Moisture content awal (%)

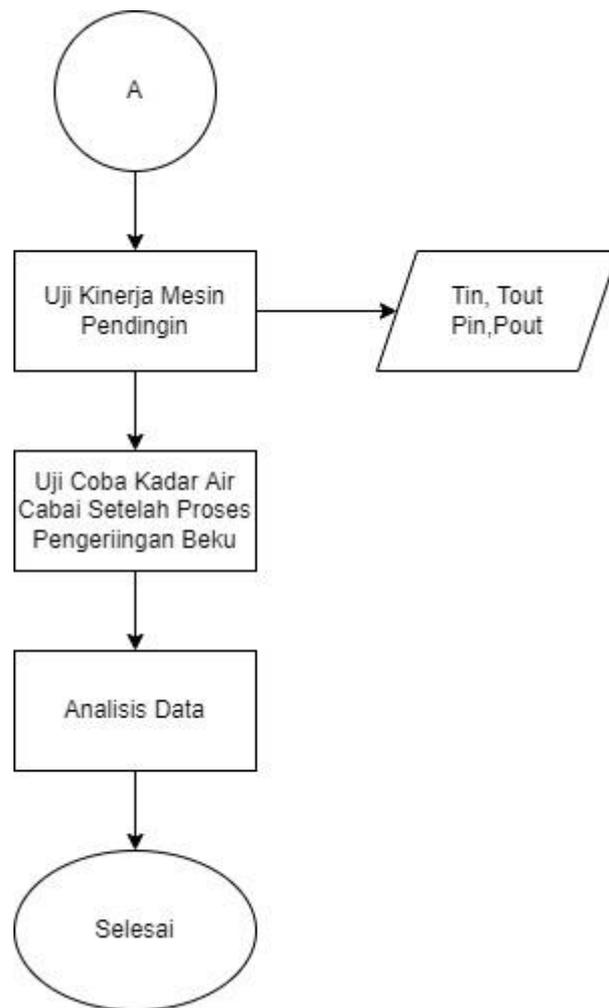
$MC2$  : Moisture content akhir (%)

Wd : Massa bahan awal (kg)

# BAB III METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1 Diagram Alir





Gambar 3. 1 Diagram alir

### 3.2 Uraian Pengerjaan

#### 3.2.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan antara lain studi jurnal/tesis tentang Freeze Drying, identifikasi komponen/perangkat pembangun system software dan hardware, dan pendalaman teori mengenai metode pengeringan beku yang digunakan pada bahan pangan. Studi literature ini sangat diperlukan untuk memberi informasi kepada penulis mengenai cara kerja system pengeringan beku dan peluang yang bisa diterapkan.

### **3.2.3 Desain Kontruksi Alat**

Untuk mewujudkan rancang bangun pengering beku untuk pengeringan cabai merah ini, tentunya membutuhkan desain kontruksi alat. Desain kontruksi alat dirancang berdasarkan studi literature yang sudah dilakukan.

### **3.2.4 Pemilihan komponen**

Setelah dilakukan desain kontruksi alat dan perencanaan system, maka langkah selanjutnya adalah dengan melakukan pemilihan komponen sesuai dengan kebutuhan yang sudah direncanakan.

### **3.2.5 Assembly**

Setelah desain alat dan pemilihan komponen alat pengering beku selesai, dilakukan proses assembly komponen alat pengering beku. Komponen alat berupa kompresor, pompa vakum, tabung evaporator, dan lain-lain dirakit sesuai desain kontruksi alat pengering beku yang sudah direncanakan.

## **3.3 Prosedur Penelitian**

Pada uji coba alat pengering beku untuk pengeringan cabai merah dibagi menjadi dua yaitu pengujian kinerja mesin pendingin dan uji coba kadar air cabai merah setelah proses primary drying. Alat yang digunakan adalah pengering beku vakum, stopwatch, neraca digital, thermocontrol, pressure gauge, wadah, freezer, dan kunci inggris. Bahan yang digunakan adalah cabai merah.

### **3.3.1 Pengujian Kinerja Mesin Pendingin**

Untuk pengujian kinerja mesin pendingin, parameter yang diamati meliputi waktu, temperatur *inlet* dan *outlet evaporator*. dan temperatur *inlet* dan *outlet* kondenser.

Tabel 3. 1 Pengujian Kinerja Mesin Pendingin

Pengamatan ke	Waktu (menit)	Kompresor				Kondensor				Evaporator			
		Ti	To	Pi	Po	Ti	To	Pi	Po	Ti	To	Pi	Po
1	10												
2	20												
3	30												
4	40												
5	50												
6	60												

Berikut merupakan prosedur pengujian kinerja mesin pendingin.

1. Kabel utama pengering beku vakum dicolokkan ke stop kontak.
2. Alat dihidupkan dengan menekan tombol MAIN POWER.
3. Set point temperatur pada THERMOSTAT untuk diatur set point  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
4. Tunggu hingga 30 menit dimulai sejak mesin dinyalakan.
5. Catat temperatur *inlet* condenser, temperature *outlet* kondensor, tekanan *inlet* condenser, tekanan *outlet* condenser, temperature *inlet* dan *outlet evaporator* dan tekanan *inlet* dan *outlet evaporator* setiap interval 10 menit.
6. Pencatatan dilakukan sebanyak 6 kali.

### 3.3.2 Uji Kadar Air Cabai Merah

Untuk mengetahui kadar air cabai merah setelah dikeringkan dapat dilakukan pengujian dengan menggunakan menggunakan beberapa variable sebagai berikut :

- a) Variabel Terikat
  - Kadar air setelah pengeringan
  - Daya heater
  - Daya kompresor mesin pendingin
  - Daya pompa vakum
- b) Variabel Bebas.
  - Temperatur Pembekuan  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6^{\circ}\text{C}$ ,  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- c) Variabel Kontrol
  - Bahan : Cabai

- Temperatur Pehangatan 50 °C
- Waktu Holding Time Pembekuan selama 2 jam
- Waktu Secondary Drying 4 jam
- Tekanan vakum 0,006 atm

Hasil eksperimen ditentukan dengan mengamati kadar air yang berkurang setelah proses pengeringan beku terhadap lama waktu primary drying dan banyaknya massa cabai merah. Berikut merupakan prosedur uji coba kadar air cabai merah :

1. Cabai merah dimasukkan ke dalam wadah dan ditimbang.
2. Mesin pendingin dinyalakan dengan memasang steker pada stopkontak yang terpasang powermeter.
3. Memotong cabai menjadi dua bagian kemudian memasukkan sampel ke dalam ruang pendingin dan ditutup rapat hingga tidak ada celah udara.
4. Proses pembekuan sampel terjadi selama 2 jam. Setelah pembekuan sampel, mesin pendingin dimatikan dan pompa vakum dihidupkan untuk memulai proses primary drying dan tersambung dengan powermeter.
5. Proses Primary Drying dilakukan hingga tekanan di ruang vacuum mencapai dibawah 0.006 atm
6. Setelah itu mematikan mesin pendingin untuk memulai secondary drying dengan menyalakan heater hingga suhu 50 °C dengan waktu pengeringan 2 jam yang telah terpasang power meter.
7. Catat semua hasil daya ada di layar powermeter.
8. Sampel dikeluarkan dari ruang pemanas kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya.
9. Mengulangi percobaan diatas dengan variasi yang berbeda.

### **3.4 Analisa Data**

Analisis data merupakan proses yang dilakukan dengan cara mencatat hasil penelitian dan mengelola data pada setiap pengujian pada uji coba kinerja mesin pendingin dan uji kadar air setelah proses pengeringan.

### 3.4.1 Kinerja Mesin Pendingin

Proses analisis data pada kinerja mesin pendingin dilakukan dengan cara mencari nilai enthalpy pada masing-masing stage. Setelah didapat enthalpy atau nilai h pada masing-masing stage, maka dapat menghitung efek refrigerasi, kerja kompresor, COP kemudian dicatat di table berikut.

### 3.4.2 Uji Kadar Air

Hasil eksperimen ditentukan dengan mengamati kadar air yang berkurang setelah proses pengeringan beku terhadap lama waktu primary drying dan banyaknya massa cabai merah. Berikut merupakan tabel untuk menganalisa hasil uji kadar air cabai merah setelah proses pengeringan beku.

### 3.5 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

Jadwal kegiatan dibawah ini dilakukan agar pembuatan Proyek Akhir terstruktur dan terlaksana dengan baik. Proyek Akhir dilaksanakan pada tanggal 8 Maret 2022 – 27 Juni 2022.

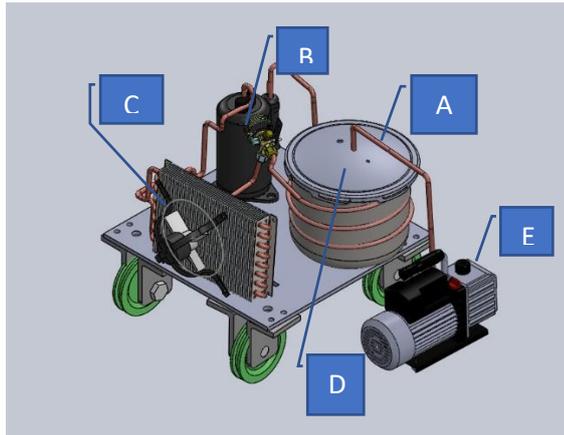
Tabel 3. 2 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

No	Rangkaian Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei				
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1.	Studi Literatur																	
2.	Perancangan Pengereng Beku																	
3.	Pembuatan Alat Pengereng Beku																	
4.	Uji Coba Alat																	
5.	Analisa Hasil Uji Coba Alat																	
6.	Penyelesaian Proyek Akhir																	

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Desain, Pemilihan Komponen

#### 4.1.1 Desain Kontruksi Alat



*Gambar 4. 1 Desain Kontruksi Alat (A) Ruang Vakum, (B) Kompresor, (C) Kondensor, (D) Evaporator, (E) Pompa Vakum*

#### 4.1.2 Pemilihan Komponen

##### 1. Ruang Vakum

Ruang vakum yang digunakan adalah panci presto yang terbuat dari stainless steel dan berkapasitas 8 liter. Ruang vakum ini diharapkan tidak ada kebocoran dan mampu memvakum tekanan hingga dibawah 0,006 atm dan temperature hingga -12 °C.



*Gambar 4. 2 Ruang Vakum*

## 2. Kompresor

Kompresor yang digunakan adalah kompresor dengan daya 1 pk. Kompresor 1 pk memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval suhu rendah.



*Gambar 4. 3 Kompresor*

## 3. Kondensor

Kondensor yang dipilih adalah kondensor dengan diameter 14x18x20 cm. Kondensor berfungsi untuk membuat energi panas dari refrigerant sehingga suhu kondensor harus lebih panas dari suhu ruangan.



*Gambar 4. 4 Kondensor*

#### **4. Evaporator**

Evaporator yang digunakan pada alat pengering beku vakum ini berupa pipa tembaga berdiameter  $\frac{1}{4}$  inchi yang nantinya akan disambungkan dengan cara dililitkan di tabung vakum.

#### **5. Pompa Vakum**

Pompa vakum yang dipilih adalah pompa vakum dengan daya motor 750 W dengan kecepatan pemompaan 14,4 m<sup>3</sup>/jam. Tekanan tertinggi dalam pompa vakum ini bisa mencapai hingga 0,001 atm.



*Gambar 4. 5 Pompa Vakum*

#### **6. Expansion Device**

Expansion device atau pipa kapiler yang dipilih adalah pipa yang terbuat dari tembaga dengan diameter 0,42" dan panjangnya 2 meter.



*Gambar 4. 6 Pipa Kapiler*

#### **7. Jenis heater**

Heater yang digunakan menggunakan air heater dengan rated power 1800 watt dan tegangan 220 v. material heater terbuat dari PTC thermistor dengan

metode pemanasannya menggunakan radiasi dari aliran udara. Heater yang dipilih dapat mencapai temperature 320 °C.



*Gambar 4. 7 Heater*



*Gambar 4. 8 Alat Pengering Beku*

#### **4.2 Hasil Pengujian Mesin Pengering Beku**

Pada pengujian alat pengering beku adalah dengan cara membekukan produk hingga temperature yang divariasikan dan diholding time pembekuan selama 2 jam. Selanjutnya menyalakan pompa vacuum hingga tekanan dalam ruang vacuum mencapai 0,006 atm. Selanjutnya dihangatkan dengan temperature 50 °C selama 4 jam. Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut.

*Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Mesin Pengering Beku*

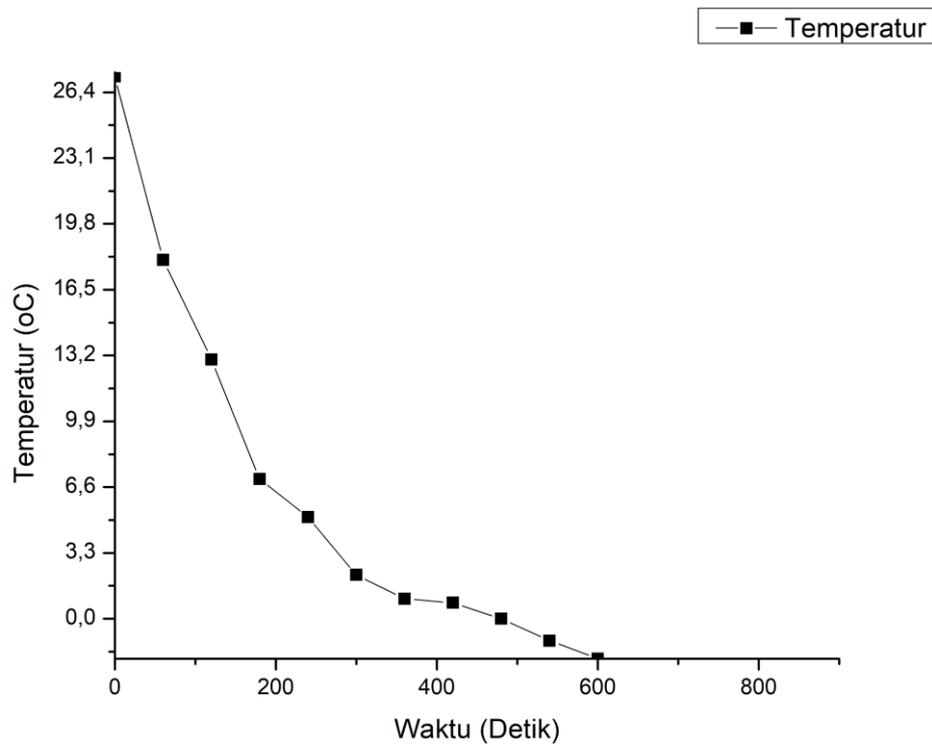
No	T Pembekuan (°C)	Massa Sebelum (gr)	Massa Sesudah (gr)	Massa Solid (gr)	Waktu Pembekuan (detik)
1	-2	25	8	4,8	600
2	-4	25	8	5	960
3	-6	25	8	4,9	1680
4	-8	25	8	4,7	3300

#### **4.2.1 Pembekuan -2 °C**

Untuk percobaan yang pertama ini cabai dibekukan hingga -2 °C kemudian diholding time selama 4 jam. Selama proses pembekuan dicatat dengan interval waktu 60 detik hingga temperature mencapai -2 °C. Sehingga didapat hasil sebagai berikut.

*Tabel 4. 2 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -2 °C*

NO	Temperatur pembekuan (°C)	Waktu (Detik)
1	27,2	0
2	18	60
3	13	120
4	7	180
5	5,1	240
6	2,2	300
7	1	360
8	0,8	420
9	0	480
10	-1,1	540
11	-2	600



Gambar 4. 9 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -2 °C

Berdasarkan uji coba diatas dapat disimpulkan bahwa untuk membekuan produk hingga temperature -2 °C, maka dibutuhkan waktu hingga 600 detik. Dan semakin lama waktu pembekuan, maka interval pengurangan temperature cabai semakin berkurang.

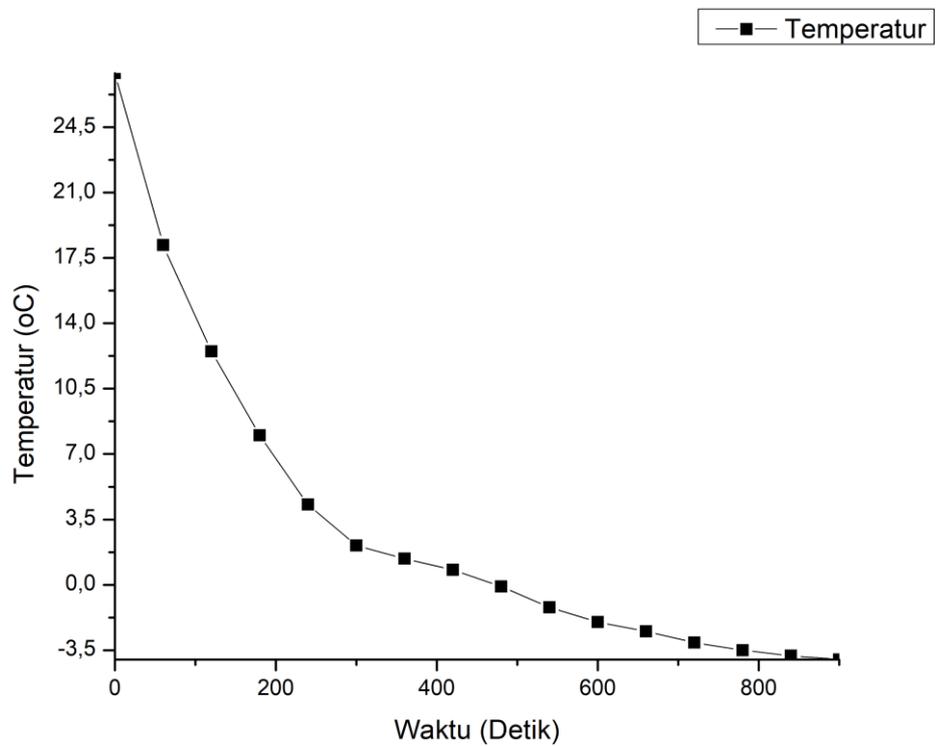
#### 4.2.2 Pembekuan -4 °C

Untuk percobaan yang kedua, cabai dibekukan hingga -4 °C kemudian diholding time selama 4 jam. Selama proses pembekuan dicatat dengan interval waktu 60 detik hingga temperature mencapai -4 °C. Sehingga didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 4. 3 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -4 °C

NO	Temperatur pembekuan (°C)	Waktu (detik)
1	27,4	0
2	18,2	60
3	12,5	120

4	8	180
5	4,3	240
6	2,1	300
7	1,4	360
8	0,8	420
9	-0,1	480
10	-1,2	540
11	-2	600
12	-2,5	660
13	-3,1	720
14	-3,5	780
15	-3,8	840
16	-4	900



Gambar 4. 10 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur - 4 °C

Berdasarkan uji coba diatas dapat disimpulkan bahwa untuk membekuan produk hingga temperature  $-4^{\circ}\text{C}$ , maka dibutuhkan waktu hingga 900 detik. Dan semakin lama waktu pembekuan, maka interval pengurangan temperature cabai semakin berkurang

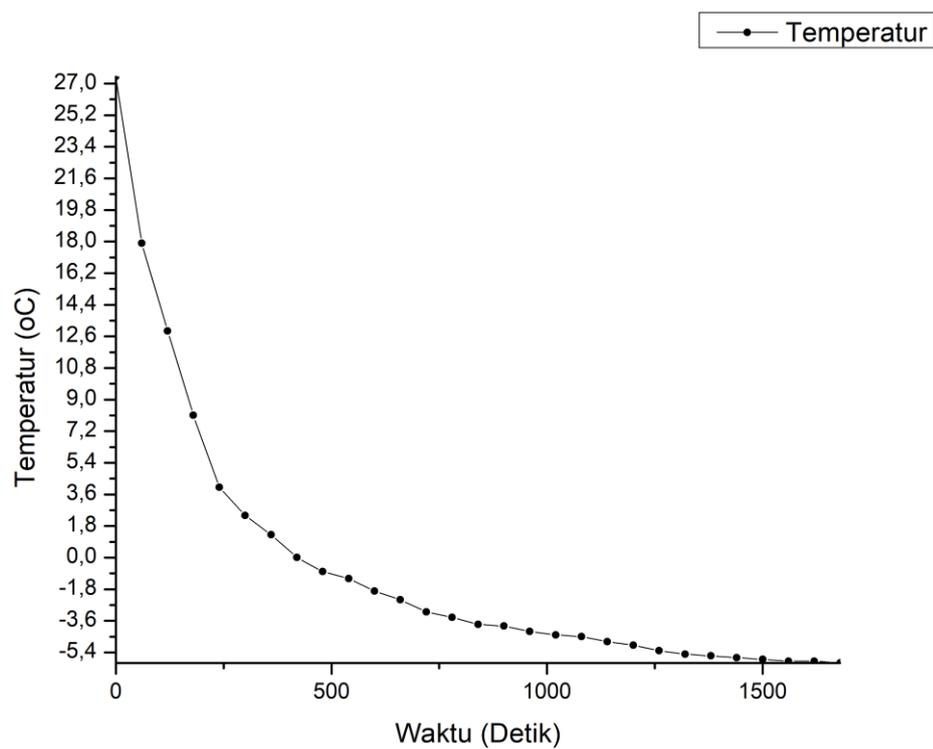
#### 4.2.3 Pembekuan $-6^{\circ}\text{C}$

Untuk percobaan yang ketiga, cabai dibekukan hingga  $-6^{\circ}\text{C}$  kemudian diholding time selama 4 jam. Selama proses pembekuan dicatat dengan interval waktu 60 detik hingga temperature mencapai  $-6^{\circ}\text{C}$ . Sehingga didapat hasil sebagai berikut.

*Tabel 4. 4 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur  $-6^{\circ}\text{C}$*

NO	Temperatur pembekuan ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu (detik)
1	27,4	0
2	17,9	60
3	12,9	120
4	8,1	180
5	4	240
6	2,4	300
7	1,3	360
8	0	420
9	-0,8	480
10	-1,2	540
11	-1,9	600
12	-2,4	660
13	-3,1	720
14	-3,4	780
15	-3,8	840
16	-3,9	900
17	-4,2	960
18	-4,4	1020
19	-4,5	1080

20	-4,8	1140
21	-5	1200
22	-5,3	1260
23	-5,5	1320
24	-5,6	1380
25	-5,7	1440
26	-5,8	1500
27	-5,9	1560
28	-5,9	1620
29	-6	1680



*Gambar 4. 11 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur - 6 °C*

Berdasarkan uji coba diatas dapat disimpulkan bahwa untuk membekuan produk hingga temperature -6 °C, maka dibutuhkan waktu hingga 1680 detik. Dan semakin

lama waktu pembekuan, maka interval pengurangan temperature cabai semakin berkurang

#### 4.2.4 Pembekuan -8 °C

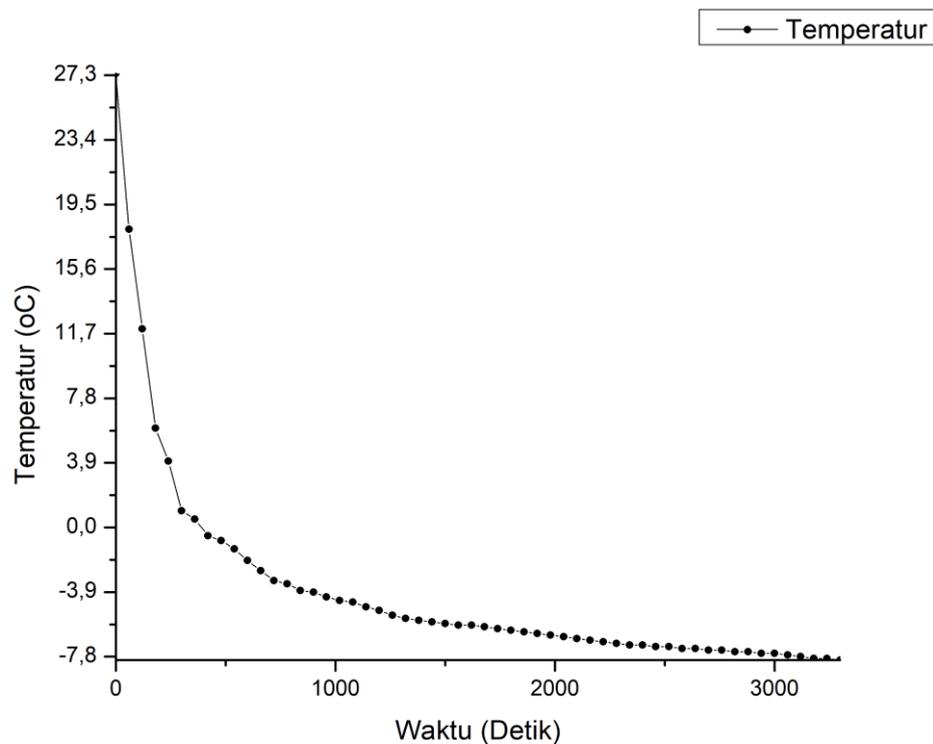
Untuk percobaan yang keempat, cabai dibekukan hingga -8 °C kemudian diholding time selama 4 jam. Selama proses pembekuan dicatat dengan interval waktu 60 detik hingga temperature mencapai -8 °C. Sehingga didapat hasil sebagai berikut.

*Tabel 4. 5 Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur -8 °C*

NO	Temperatur Pembekuan (°C)	Waktu (Detik)
1	27,4	0
2	18	60
3	12	120
4	6	180
5	4	240
6	1	300
7	0,5	360
8	-0,5	420
9	-0,8	480
10	-1,3	540
11	-2	600
12	-2,6	660
13	-3,2	720
14	-3,4	780
15	-3,8	840
16	-3,9	900
17	-4,2	960
18	-4,4	1020
19	-4,5	1080
20	-4,8	1140
21	-5	1200
22	-5,3	1260

23	-5,5	1320
24	-5,6	1380
25	-5,7	1440
26	-5,8	1500
27	-5,9	1560
28	-5,9	1620
29	-6	1680
30	-6,1	1740
31	-6,2	1800
32	-6,3	1860
33	-6,4	1920
34	-6,5	1980
35	-6,6	2040
36	-6,7	2100
37	-6,8	2160
38	-6,9	2220
39	-7	2280
40	-7,1	2340
41	-7,1	2400
42	-7,2	2460
43	-7,2	2520
44	-7,3	2580
45	-7,3	2640
46	-7,4	2700
47	-7,4	2760
48	-7,5	2820
49	-7,5	2880
50	-7,6	2940
51	-7,6	3000
52	-7,7	3060
53	-7,8	3120

54	-7,9	3180
55	-7,9	3240
56	-8	3300



*Gambar 4. 12 Grafik Penurunan Temperatur Tiap 60 Detik Hingga Temperatur - 8 °C*

Berdasarkan uji coba diatas dapat disimpulkan bahwa untuk membekuan produk hingga temperature -8 °C, maka dibutuhkan waktu hingga 3300 detik. Dan semakin lama waktu pembekuan, maka interval pengurangan temperature cabai semakin berkurang.

### **4.3 Moisture Content dan drying rate**

Pengujian alat dilakukan dengan melakukan percobaan rangkaian sistem alat untuk mengetahui hasil dan bisa mengevaluasi dan mendapatkan hasil yang maksimal (Mashuri, Husodo, Heraldi, Pramanda, & Samudra, 2021). Dari hasil

pengujian alat pengering beku didapat data pengurangan massa cabai sebagai berikut :

*Tabel 4. 6 Hasil Pengurangan Massa Cabai*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	Massa basah (gr)	Massa Sesudah (gr)	Massa Solid (gr)
1	-2	25	8	4,8
2	-4	25	8	5
3	-6	25	8	4,9
4	-8	25	8	4,7

Percobaan diatas dilakukan pengeringan primer hingga tekanan mencapai 0,006 atm dan pengeringan sekunder dengan temperature 50 °C selama 4 jam. dengan Kemudian dihitung menggunakan rumus :

$$MC1 = \frac{\text{Massa setelah pengeringan beku} - \text{Massa solid}}{\text{Massa basah}} \times 100 \% \quad (2.11)$$

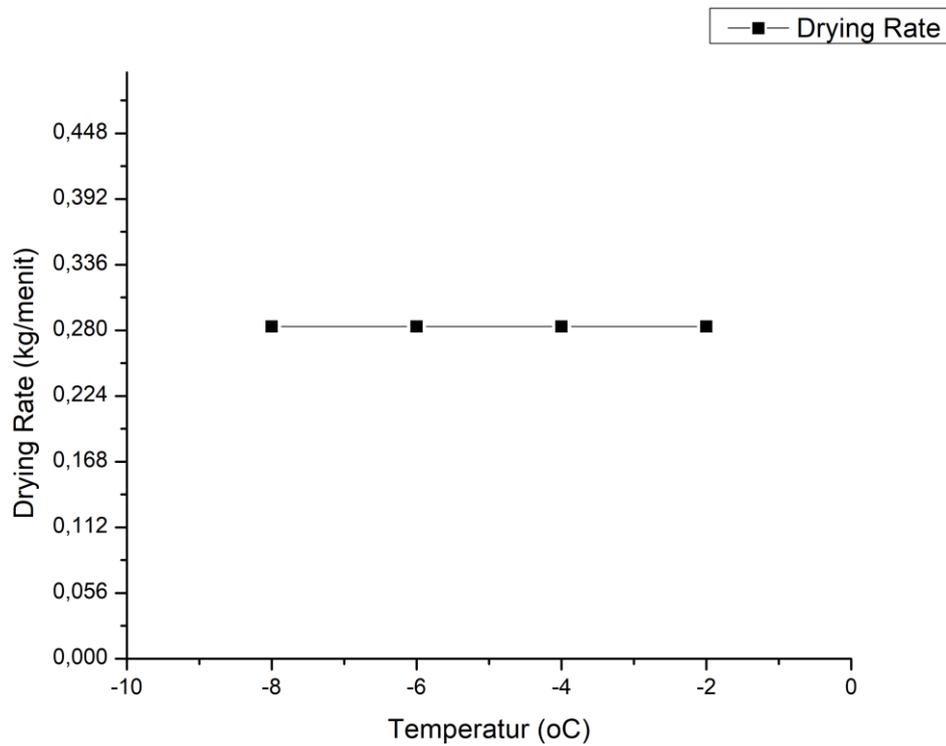
$$MC2 = \frac{\text{Massa basah} - \text{Massa solid}}{\text{Massa basah}} \times 100 \% \quad (2.12)$$

$$\text{Drying rate} = \frac{MC1 - MC2}{\text{Waktu pengeringan}} \quad (2.13)$$

Dari perhitungan rumus diatas didapat nilai moisture content dan drying rate pada setiap pengujian sebagai berikut :

*Tabel 4. 7 Analisa Moisture Content & Drying Rate*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	MC 1 (%)	MC 2 (%)	Drying Rate (kg/menit)
1	-2	12,8	80,8	0,2833
2	-4	12	80	0,2833
3	-6	12,4	80,4	0,2833
4	-8	11,6	79,6	0,2833



Gambar 4. 13 Drying Rate

Dari gambar grafik 4.9 dapat diketahui drying rate pada setiap temperature pembekuan adalah nilainya tetap. Hal ini disebabkan pada setiap percobaan pengeringan dengan waktu 4 jam dan temperature pengeringan 50 °C memiliki pengurangan kadar air yang sama sehingga menghasilkan nilai drying rate yang tetap.

#### 4.4 Efisiensi Energi Mesin Pengering Beku

##### 4.4.1 Kinerja Mesin Pendingin

Untuk pengujian kinerja mesin pendingin, parameter yang diamati meliputi waktu, temperatur *inlet* dan *outlet evaporator*. dan temperatur *inlet* dan *outlet* kondenser.

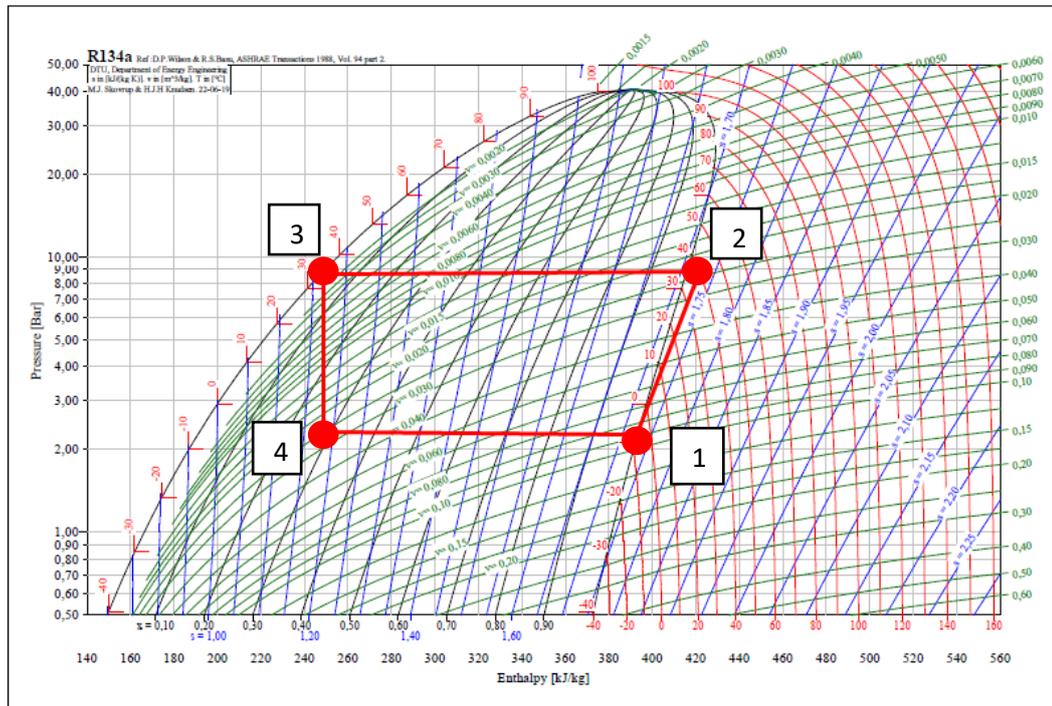
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Sistem Pendingin

Pengujian Kinerja Mesin Pendingin									
No	Interval Waktu	Kondensor				Evaporator			
		T in (°C)	P in (psi)	T out (°C)	P Out (psi)	T in (°C)	P in (psi)	T out (°C)	P out (psi)
1	30 menit	34,2	100	28.6	100	-2,2	10	-1	5
2	40 menit	34,3	100	28.9	100	-8	11	-4,5	5
3	50 menit	34,8	100	29	100	-7,3	10	-1,1	5
4	60 menit	34,3	100	28,8	100	-6,5	10	-3,5	5
5	70 menit	34,8	100	28,6	100	-9	10	-5,8	5

Dari data diatas maka kita bisa membuat grafik siklus refrigerasi ideal menggunakan aplikasi Coolpack dengan memasukan temperature inlet kondensor yang sudah di rata-rata dan temperature inlet evaporator yang telah di rata-rata.. Sehingga didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Data Temperatur, Tekanan, Entalpi, Entropi, Volume Spesifik

Point	T (°C)	P(bar)	V (m <sup>3</sup> /kg)	h (kJ/Kg)	S (kJ/(KgK))
1	-6,8	2,273	0,087886	393,222	1,7261
2	39,268	8,741	0,02401	421,039	1,7261
3	34,480	8,741	N/A	247,985	N/A
4	-6,8	2,273	N/A	247,985	N/A



Gambar 4. 14 Grafik Sistem Refrigerasi R134A Aplikasi Coolpack

Berdasarkan gambar 4.10 grafik R134a, pada titik 1, berada pada saturated vapor dengan  $T_1 = 34.480\text{ }^\circ\text{C}$  Dari table saturated vapor dan pada software coolpack didapat data sebagai berikut :

$$h_1 = 393.22\text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = 0.087\text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_1 = 1.72\text{ kJ/kg.K}$$

Dari grafik refrigerant 134a, pada titik 2 berada di superheated vapor (uap panas lanjut) dengan  $P_2 = 8,741\text{ Bar}$ ,  $T_2 = 39,268\text{ }^\circ\text{C}$  dan mengalami isentropic compressor. Dari table superheated vapor pada aplikasi coolpack, didapat data sebagai berikut.

$$s_1 = s_2 = 1.72\text{ kJ/kg.K}$$

$$h_2 = 421,03\text{ kJ/kg}$$

Dari grafik refrigerant 134a, pada titik 3 berada di daerah saturated liquid dengan  $P_3 = 8,741 \text{ Bar}$  dan  $T_3 = 34,480 \text{ }^\circ\text{C}$  dari tsbel pada daerah saturated liquid pada aplikasi coolpack didapat data sebagai berikut :

$$h_3 = 247,98 \text{ kJ/kg}$$

Pada titik 4 mengalami proses isoentalpi pada expansion device sehingga  $h_3$  sama dengan  $h_4$ .

$$h_3 = h_4 = 247,98 \text{ kJ/kg}$$

Dari data-data diatas kita dapat menghitung :

1. Daya Kompresor

$$W_k = 475 \text{ Watt. (Diukur dengan powermeter)}$$

Setelah daya kompresor diketahui maka dapat dihitung laju aliran refrigerant dengan rumus sebagai berikut :

2. Laju Aliran Refrigeran (Sesuai Persamaan 2.4)

$$\dot{m} = \frac{W_k}{h_2 - h_1} = \frac{475 \cdot 10^{-3}}{421,03 - 393,22} = 0,017 \text{ kg/s}$$

Setelah didapatkan laju aliran massa maka dapat dicari laju aliran volume sebagai berikut :

3. Laju Aliran Volume

$$\dot{v} = \dot{m} \cdot v_1 = 0,017 \times 0,087 = 0,00148 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 88,8 \text{ L/menit}$$

Setelah diketahui laju aliran volume, dapat dihitung efek refrigerasi sebagai berikut :

4. Efek Refrigerasi (Sesuai persamaan 2.7)

$$q = h_1 - h_4 = 393,22 - 247,98 = 145,24 \text{ kJ/kg}$$

Setelah didapat efek refrigerasi maka dapat dihitung kapasitas refrigerasi dengan rumus sebagai berikut :

5. Kapasitas Refrigerasi (Sesuai persamaan 2.7)

$$Q_o = \dot{m}(h_4 - h_1) = 0,017 \times (393,22 - 247,98) = 2,46 \text{ KW}$$

Setelah mendapat kapasitas refrigerasi, selanjutnya menghitung kalor yang dilepas kondensor dengan rumus sebagai berikut :

6. Kalor Yang Dilepas Kondensor (Sesuai Persamaan 2.3)

$$Q_k = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0,017(421,03 - 247,98) = 2,94 \text{ KW}$$

Selanjutnya menghitung coefficient of performance dengan rumus sebagai berikut :

7. Coefficient of Performance (Sesuai Persamaan 2.9)

$$COP = \frac{Q_o}{W_k} = \frac{2,46}{0,475} = 5,178$$

Setelah diketahui COP actual, untuk menghitung efisiensi mesin pendingin, maka diperlukan nilai COP carnot. Rumus COP carnot adalah sebagai berikut;

8. COP Carnot (Sesuai Persamaan 2.10)

$$COP_{ca} = \frac{T_e}{T_c - T_e} = \frac{266,2}{307,63 - 266,2} = 6,488$$

Setelah diketahui COP Aktual dan COP Carnot maka dapat dihitung efisiensi mesin pendingin sebagai berikut :

9. Efisiensi Mesin Pendingin (Sesuai Persamaan 2.8)

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% = \frac{5,178}{6,488} \times 100\% = 79,82 \%$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat efisiensi sebesar 79,82 %. Nilai efisiensi ini lebih tinggi dari pada penelitian fadarina dkk (2020) tentang efisiensi mesin pengering beku vakum dengan nilai efisiensi sebesar 55,71 %.

#### 4.4.2 Energi Input

Pada penelitian ini energi input adalah energi listrik yang digunakan oleh alat pengering vakum selama proses pengeringan dan diukur menggunakan *power meter*. Energi listrik yang diukur meliputi energi listrik untuk mengoperasikan mesin pendingin, pompa vakum, dan heater. Dari hasil pengujian alat pengering beku didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Daya Listrik

No	T Pembekuan (°C)	t Pembekuan (detik)	t Pengerangan (detik)	W Kompresor (kW)	W Pompa Vakum (kW)	W Heater (kW)
1	-2	7800	14400	0,475	0,294	0,191
2	-4	8160	14400	0,475	0,294	0,191
3	-6	8880	14400	0,475	0,294	0,191
4	-8	10500	14400	0,475	0,294	0,191

Waktu pembekuan (t pembekuan) merupakan penjumlahan dari waktu untuk mendinginkan temperature ruangan hingga temperature pembekuan cabai yang divariasikan dengan waktu holding time pembekuan selama 2 jam atau 7200 detik. Sehingga untuk mencari energy input dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{in} = Q_{listrik} \times t \quad (2.15)$$

$$Q_{in} = (W_{kompresor} \times t \text{ pembekuan}) + (W_{pompa} \times t \text{ pengerangan}) + (W_{heater} \times t \text{ pengerangan})$$

Dari rumus perhitungan energy input pada masing-masing temperature diatas, didapat data sebagai berikut :

Tabel 4. 11 Energi Input

No	T Pembekuan (°C)	Energi Input (kj)
1	-2	10689
2	-4	10860
3	-6	11202
4	-8	11971,5

#### 4.4.3 Energi Output

Energi output pada penelitian ini ialah energy yang dibutuhkan untuk menyublimkan kandungan air pada bahan, pada penelitian ini tekanan dalam ruang vakum mencapai 0,006 atm, dan temperature pembekuan -2 °C, -4 °C, -6 °C, -8 °C. Kemudian dihangatkan dengan temperature -50 °C selama 4 jam. Nilai energi

output ini dapat dihitung berdasarkan hasil perkalian nilai beban uap air dengan nilai panas laten pada masing masing suhu percobaan. Beban uap air dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$E = \frac{(MC1-MC2) \times 100}{(100-MC1) \times (100-MC2)} \times Wd \quad (2.17)$$

Untuk data moisture content pada setiap percobaan dapat dilihat pada table 4.4. Kemudian untuk nilai panas laten ini didapatkan dari tabel Thermodinamika yaitu tabel saturate ice-water vapour (Lampiran). Sehingga didapat data sebagai berikut :

*Tabel 4. 12 Beban Uap Air & Panas Laten*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	E (kg H2O)	h (kj/kg)
1	-2	0,1015	2496,8
2	-4	0,0965	2493,2
3	-6	0,099	2489,5
4	-8	0,0951	2485,8

Setelah didapat data diatas, kemudian energy output dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{out} = E \times H_{lb} \quad (2.16)$$

Dari rumus diatas didapat nilai energy output pada setiap percobaan sebagai berikut:

*Tabel 4. 13 Energi Output*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	Energi Output (kj)
1	-2	253,42
2	-4	240,59
3	-6	246,46
4	-8	236,39

Energy output tertinggi pada temperature pembekuan -2 °C dikarenakan beban uap air yang menyublim memiliki angka yang paling tinggi dari temperature pembekuannya lainnya begitu juga dengan panas laten uap pada temperature -2 °C.

#### 4.4.4 Effisiensi Energi

Dari data sebelumnya didapat hasil energy input dan energy output dengan data sebagai berikut :

*Tabel 4. 14 Energy Input & Energy Ouput*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	Energi Input	Energi Output
1	-2	10689	253,42
2	-4	10860	240,59
3	-6	11202	246,46
4	-8	11971,5	236,39

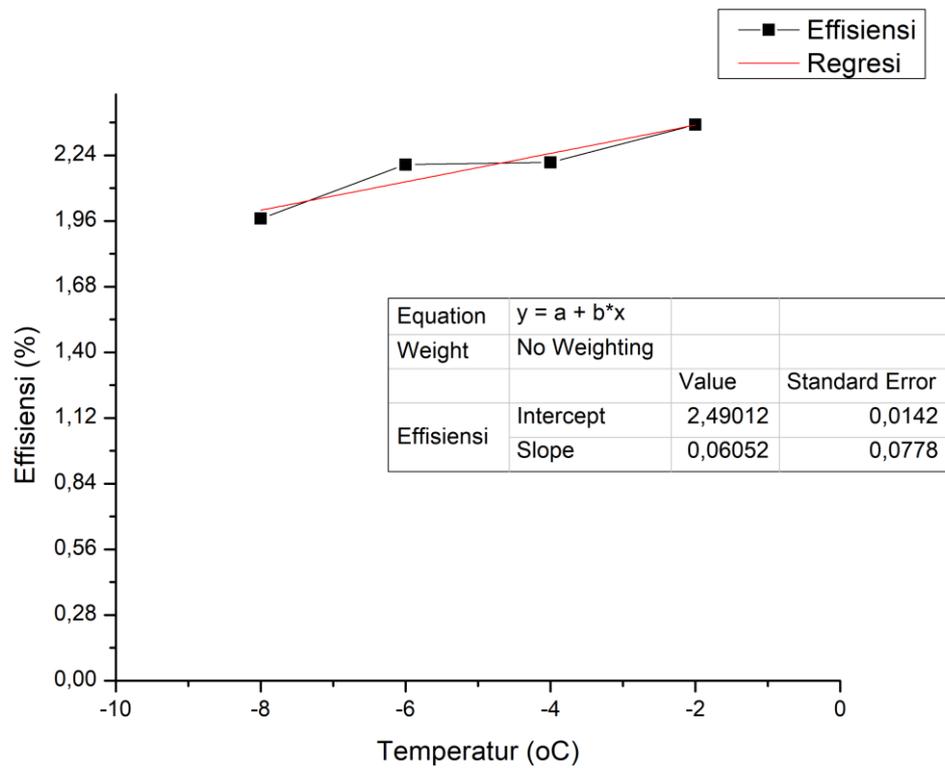
Efisiensi energi alat pengering beku merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk proses penyubliman yang terkandung pada bahan uji dibagi dengan energi yang dihasilkan energi listrik untuk mengoperasikan alat pengering vakum selama proses pengeringan. Sehingga dari data diatas dapat dihitung sengan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.14)$$

Dari rumus diatas didapat data effisiensi pada setiap variasi percobaan temperature pembekuan dan didapat data sebagai berikut :

*Tabel 4. 15 Effisiensi Energi*

No	Temperatur Pembekuan (°C)	Effisiensi (%)
1	-2	2,37
2	-4	2,21
3	-6	2,2
4	-8	1,97



*Gambar 4. 15 Grafik Effisiensi Energi*

Dari gambar grafik 4.11 didapat efisiensi energy tertinggi ada pada temperature -2 °C. Hal ini disebabkan energy input pada temperature -2 °C lebih rendah dari pada temperature pembekuan lainnya dan energy output pada temperature -2 °C lebih tinggi dari pada temperature pembekuan yang lainnya sehingga didapat nilai efisiensi tertinggi. Dari hasil diatas didapat titik optimal pada alat ini dengan temperature pembekuan -2 °C, waktu pengeringan 4 jam, dan temperature pengeringan hingga 50 °C.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil penelitian “Studi Eksperimen Pengering Beku Untuk Pengeringan Cabai Merah Dengan Variasi Temperatur Pembekuan” ini, maka hasil yang dapat disimpulkan adalah :

1. Telah didapat mesin pengering beku vakum dengan suhu ruangan hingga  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tekanan pada ruang vacuum hingga  $0,001\text{ atm}$  dan temperature penghangatan hingga  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
2. Laju pengeringan setelah pengeringan beku cabai pada suhu pembekuan  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  adalah sebesar  $0,2833\text{ kg/menit}$  dan tidak ada perubahan laju pengeringan pada setiap perbedaan suhu pembekuan.
3. Dari hasil pengujian kinerja mesin pendingin didapat efisiensi mesin pendingin sebesar  $79,82\%$  dan efisiensi mesin pengering beku pada suhu  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebesar  $2,37\%$ ,  $2,21\%$ ,  $2,2\%$ ,  $1,97\%$ . Sehingga efisiensi mesin pengering beku tertinggi ada pada suhu  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan nilai  $2,37\%$ .

#### **5.2 Saran**

Dalam pembuatan Proyek Akhir ini, tentunya banyak kekurangan dalam proses pembuatannya, maka disarankan kepada pembaca agar :

1. Memperbaiki perencanaan alat agar kapasitas lebih besar
2. Memperbaiki perencanaan pada ruang vakum agar tidak ada kebocoran dan dapat menurunkan tekanan hingga dibawah  $0,006\text{ atm}$ .
3. Memperbaiki perencanaan alat agar temperature pada saat pembekuan dapat lebih rendah lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan\_Standarisasi\_Nasional. (2019). Cara uji makanan dan minuman. *SNI No. 01-2891-1992, 1992*, 1–39. Retrieved from <https://www.slideshare.net/Fitrijasmineandriani/sni01-28911992-cara-uji-makanan-minuman>
- Faturohman, P. S. D. R. B. S. C. S. K. H. I. W. A. T. A. (2021). PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI MESIN PENGERING VAKUM. *Fakultas Sains Dan Matematika, Universitas Diponegoro, 2021*, 19–29.
- Gaidhani. (2015). *Lyophilization/Freeze Drying*. WJPR.
- Herawati, H. (2008). Penentuan umur simpan produk pangan. *Prosiding Jurnal Litbang Pertanian*, 124–130.
- Januari, A. M. (2014). Pengeringan Bengkuang Dengan Sistem Pengeringan Beku Vakum. *Fakultas Teknik Universitas Riau, 1(2)*, 1–13.
- Laely Fitri. (2015). POTENSI PENGEMBANGAN PRODUK CABAI MERAH ( *Capsicum annum L.* ) BEKU. *Fakultas Teknologi Pangan Dan Agroindustri Universitas Mataram*.
- Mashuri, M., Husodo, N., Heraldi, M., Pramanda, D. N., & Samudra, A. R. (2021). Percobaan prototype kontrol mesin air otomatis berbasis arduino nano. *Jurnal AMORI, 2*.
- Maswan. (2012). Model Simulasi Pengering Beku Vakum dengan Pembekuan Internal dan Pemanfaatan Panas Buang Kondenser. *Universitas Indonesia*.
- Moran, M. J. (2004). *Engineering Thermodynamics (Vol 1)*.
- Parfiyanti, E. A., Budihastuti, R., & Hastuti, E. D. (2016). PENGARUH SUHU PENGERINGAN YANG BERBEDA TERHADAP KUALITAS CABAI RAWIT ( *Capsicum frutescens L.* ) Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki keanekaragaman tumbuhan yang pada bidang semua buah yang rasa pedas dari cabai . Capsaicinoid merupakan dan Pa, 5(1).

- Purnamasari, I., & Fajar, R. (2020). EFISIENSI MESIN PENGERING BEKU VAKUM PADA PENGERINGAN CABAI MERAH ( *Capsicum annum* L .) MACHINE EFFICIENCY OF VACUUM FREEZE DRYER IN RED CHILI ( *Capsicum annum* L .) DRYING. *Politeknik Negeri Sriwijaya, Jurnal Kinetika Vol. 11, No. 01, 11(01)*, 1–8.
- Setiadi. (1999). *Bertanam Cabai*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Shukla. (2011). *Freeze Drying Process. IJPSR* (Vol. 2).
- Stoecker. (2005). *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. Jakarta: Erlangga.
- Suryati, L. (2019). Cara Panen dan Penanganan Pascapanen Cabai Merah.  
Retrieved from <http://cybex.pertanian.go.id/mobile/artikel/88268/CARA-PANEN-DAN-PENANGANAN-PASCAPANEN-CABAI-MERAH/>
- Trott. (2000). *Refrigeration and Air-Conditioning*. UK: Butterworth-Heinemann.

## LAMPIRAN

**TABLE A-8**

Saturated ice–water vapor

Temp., $T$ °C	Sat. press., $P_{sat}$ kPa	Specific volume, $m^3/kg$		Internal energy, $kJ/kg$			Enthalpy, $kJ/kg$			Entropy, $kJ/kg \cdot K$		
		Sat. ice, $v_i$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. ice, $u_i$	Subl., $u_{ig}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. ice, $h_i$	Subl., $h_{ig}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. ice, $s_i$	Subl., $s_{ig}$	Sat. vapor, $s_g$
0.01	0.61169	0.001091	205.99	-333.40	2707.9	2374.5	-333.40	2833.9	2500.5	-1.2202	10.374	9.154
0	0.61115	0.001091	206.17	-333.43	2707.9	2374.5	-333.43	2833.9	2500.5	-1.2204	10.375	9.154
-2	0.51772	0.001091	241.62	-337.63	2709.4	2371.8	-337.63	2834.5	2496.8	-1.2358	10.453	9.218
-4	0.43748	0.001090	283.84	-341.80	2710.8	2369.0	-341.80	2835.0	2493.2	-1.2513	10.533	9.282
-6	0.36873	0.001090	334.27	-345.94	2712.2	2366.2	-345.93	2835.4	2489.5	-1.2667	10.613	9.347
-8	0.30998	0.001090	394.66	-350.04	2713.5	2363.5	-350.04	2835.8	2485.8	-1.2821	10.695	9.413
-10	0.25990	0.001089	467.17	-354.12	2714.8	2360.7	-354.12	2836.2	2482.1	-1.2976	10.778	9.480
-12	0.21732	0.001089	554.47	-358.17	2716.1	2357.9	-358.17	2836.6	2478.4	-1.3130	10.862	9.549
-14	0.18121	0.001088	659.88	-362.18	2717.3	2355.2	-362.18	2836.9	2474.7	-1.3284	10.947	9.618
-16	0.15068	0.001088	787.51	-366.17	2718.6	2352.4	-366.17	2837.2	2471.0	-1.3439	11.033	9.689
-18	0.12492	0.001088	942.51	-370.13	2719.7	2349.6	-370.13	2837.5	2467.3	-1.3593	11.121	9.761
-20	0.10326	0.001087	1131.3	-374.06	2720.9	2346.8	-374.06	2837.7	2463.6	-1.3748	11.209	9.835
-22	0.08510	0.001087	1362.0	-377.95	2722.0	2344.1	-377.95	2837.9	2459.9	-1.3903	11.300	9.909
-24	0.06991	0.001087	1644.7	-381.82	2723.1	2341.3	-381.82	2838.1	2456.2	-1.4057	11.391	9.985
-26	0.05725	0.001087	1992.2	-385.66	2724.2	2338.5	-385.66	2838.2	2452.5	-1.4212	11.484	10.063
-28	0.04673	0.001086	2421.0	-389.47	2725.2	2335.7	-389.47	2838.3	2448.8	-1.4367	11.578	10.141
-30	0.03802	0.001086	2951.7	-393.25	2726.2	2332.9	-393.25	2838.4	2445.1	-1.4521	11.673	10.221
-32	0.03082	0.001086	3610.9	-397.00	2727.2	2330.2	-397.00	2838.4	2441.4	-1.4676	11.770	10.303
-34	0.02490	0.001085	4432.4	-400.72	2728.1	2327.4	-400.72	2838.5	2437.7	-1.4831	11.869	10.386
-36	0.02004	0.001085	5460.1	-404.40	2729.0	2324.6	-404.40	2838.4	2434.0	-1.4986	11.969	10.470
-38	0.01608	0.001085	6750.5	-408.07	2729.9	2321.8	-408.07	2838.4	2430.3	-1.5141	12.071	10.557
-40	0.01285	0.001084	8376.7	-411.70	2730.7	2319.0	-411.70	2838.3	2426.6	-1.5296	12.174	10.644

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kota Surabaya pada tanggal 3 maret 2000. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis memulai pendidikannya pada tahun 2004-2006 di TK Al-Hikmah Surabaya, pendidikan dasar pada tahun 2006-2012 di SD Al-Hikmah Surabaya, pendidikan tingkat menengah pertama di SMP Al-Hikmah Surabaya pada tahun 2012-2015, pendidikan tingkat atas di SMA Negeri 20 Surabaya pada tahun 2015-2018. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan sarjana terapan di Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi ITS Surabaya pada tahun 2018-2022. Selama masa perkuliahan, penulis juga aktif sebagai staff departemen minat bakat HMDM ITS pada tahun 2020, panitia staff SEC 2.0 transportasi pada tahun 2019, panitia staff Servis Gratis pada tahun 2019, dan kepala departemen minat bakat HMDM ITS. Penulis dapat dihubungi via email [robbibagaskara@gmail.com](mailto:robbibagaskara@gmail.com).