



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMEN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR 50 °C

MUHAMMAD HILMY FADHILAH
10211810010050

Dosen Pembimbing
M.Lukman Hakim, ST., MT
1994201911070
Mashuri, S.Si., MT
1991202011002

Program Studi S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMEN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR 50 °C

MUHAMMAD HILMY FADHILAH
10211810010050

Dosen Pembimbing
M.Lukman Hakim, ST., MT
1994201911070
Mashuri, S.Si., MT
1991202011002

Program Studi S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT

**EXPERIMENTAL STUDY OF FROZEN DRYER FOR
DRYING CHILLI WITH VARIATION OF TIME AND
TEMPERATURE 50 °C**

MUHAMMAD HILMY FADHILAH
10211810010050

Advisor

M.Lukman Hakim, ST., MT
1994201911070

Mashuri, S.Si., MT
1991202011002

S1 Applied Energy Conversion Engineering Technology Study Program
Department of Industrial Mechanical Engineering

Faculty of Vocational

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR 50 °C

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar S.Tr.
Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Muhammad Hilmy Fadhilah**

10211810010050

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. M.Lukman Hakim, ST., MT
NIP. 1994201911070
2. Mashuri, S.Si., MT
NIP.1991202011002
3. Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D
NIP.19751206 200501 1 002
4. Ir. Denny ME Soedjono, MT
NIP.19570331 198803 1 001




Pembimbing


Ko-pembimbing


Penguji


Penguji

Surabaya
Juli, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama / NRP : Muhammad Hilmy Fadhilah / NRP.10211810010050
Departemen : Teknik Mesin Industri
Dosen Pembimbing / NIP : M.Lukman Hakim, ST., MT / NIP. 1994201911070

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “ STUDI EKSPERIMEN PENDINGIN BEKU UNTUK PENDINGINAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR 50 °C” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

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

Surabaya, 23 Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(M.Lukman Hakim, ST., MT)
NIP. 1994201911070

Mahasiswa



(Muhammad Hilmy Fadhilah)
NRP.10211810010050

STUDI EKSPERIMEN PENGERING BEKU UNTUK PENGERINGAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR 50°C

Penulis : **Muhammad Hilmy Fadhilah**
NRP : **10211810010050**
Departemen : **Teknik Mesin Industri**
Pembimbing : **1. M.Lukman Hakim, ST., MT**
2. Mashuri, S.Si., MT

ABSTRAK

Cabai merupakan salah satu tanaman bumbu dapur yang tumbuh subur di Indonesia. Kebutuhan akan cabai di Indonesia sangatlah tinggi mengingat citarasa masakan Indonesia kaya akan rempah-rempah. Cabai merupakan salah satu produk pertanian yang dapat dikeringkan menggunakan pengering beku. Cabai memiliki karakteristik sangat mudah rusak dan bersifat musiman. Cabai memiliki karakteristik sangat mudah rusak dan bersifat musiman. Ini menyebabkan petani cabai yang menerapkan teknologi budidaya akan memilih untuk menghasilkan cabai yang banyak pada musim panen raya. Hal ini menjadi masalah bagi petani cabai karena pada panen raya harga cabai turun dan mudah busuk. Pengeringan beku adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai kelebihan dibandingkan dengan metode pengeringan yang lain. Ada 3 tahap dalam pengeringan beku, yaitu pembekuan, pengeringan primer dan pengeringan sekunder. Tahap pembekuan yaitu tahap produk dibekukan hingga semua bagian produk membeku. Selanjutnya adalah pengeringan primer dimana kandungan air dihilangkan dengan cara sublimasi. Tahap terakhir adalah pemanasan sekunder yaitu menghilangkan kandungan air yang tidak hilang dengan cara sublimasi.

Studi eksperimen ini dimulai dari pemilihan komponen serta assembly komponen alat. Setelah selesai maka dilakukan uji kebocoran, dan juga uji terhadap parameter yang telah ditentukan. Dalam penelitian kali ini penulis akan menggunakan metode uji kinerja sistem pendingin pada mesin pengering beku dengan cara dinyalakan sistem selama 30 menit kemudian dicatat tekanan dan temperaturnya dengan interval 10 menit, serta melakukan uji kinerja kadar air yang dapat dihilangkan oleh mesin tersebut. Dalam uji kinerja kadar air metode yang digunakan adalah dengan variasi waktu penahanan pengeringan, setelah pembekuan selama 2 jam kemudian waktu pengeringan divariasikan mulai dari 2, 4, 6, dan 8 jam dengan temperatur 50 °C.

Berdasarkan hasil dari studi eksperimen, didapatkan Mesin Pengering Beku yang berfungsi dengan baik pada temperatur pemanasan sebesar 50 °C dan ditahan selama 6 jam dengan pengurangan massa sebesar 68%. Didapatkan juga hasil laju pengeringan rata-rata cabai sampai 6 jam pada alat pengering beku untuk pengeringan cabai dengan temperatur 50°C adalah sebesar 0,00131% gr/min, data kinerja sistem pendingin, penurunan massa, kadar air yang hilang serta laju pengeringan yang berhasil dilakukan. Analisa Kinerja mesin pendingin bisa digunakan untuk melihat efisiensi dari sistem yang dibuat.

EXPERIMENTAL STUDY OF FROZEN DRYER FOR DRYING CHILLI WITH VARIATION OF TIME AND TEMPERATURE 50 C

Author : **Muhammad Hilmy Fadhilah**
ID : **10211810010050**
Department : **Industrial Mechanical Engineering**
Supervisor : **1. M.Lukman Hakim, ST., MT**
2. Mashuri, S.Si., MT

ABSTRACT

Chili is one of the kitchen spice plants that thrive in Indonesia. The need for chili in Indonesia is very high considering the taste of Indonesian cuisine is rich in spices. Chili is one of the agricultural products that can be dried using a freeze dryer. Chili has the characteristics of being very perishable and seasonal. Chili has the characteristics of being very perishable and seasonal. This causes chili farmers who apply cultivation technology to choose to produce a lot of chili during the harvest season. This is a problem for chili farmers because during the harvest season, the price of chili drops and it rots easily. Freeze drying is one of the drying methods that has advantages compared to other drying methods. There are 3 stages in freeze drying, namely freezing, primary drying, and secondary drying. The freezing stage is the stage where the product is frozen until all parts of the product are frozen. Next is primary drying where the water content is removed by sublimation. The last stage is secondary heating, which is removing the water content that is not lost by sublimation.

This experimental study begins with the selection of components and assembling of the components of the tool. After completion, a leak test is carried out, and also a test of the parameters that have been determined. In this study, the author will use the method of testing the performance of the cooling system on the freeze dryer by turning on the system for 30 minutes then recording the pressure and temperature at 10-minute intervals, and testing the performance of the moisture content that can be removed by the machine. In the performance test the moisture content of the method used is by varying the drying holding time, after freezing for 2 hours then the drying time is varied from 2, 4, 6, and 8 hours with a temperature of 50 °C.

Based on the results of the experimental study, the Freeze Dryer was found to function properly at a heating temperature of 50 °C and held for 6 hours with a mass reduction of 68%. The results also obtained that the average drying rate of chili for up to 6 hours in a freeze dryer for drying chili with a temperature of -2 is 0.00131% gr/min, cooling system performance data, mass reduction, lost water content and successful drying rate. conducted. Cooling engine performance analysis can be used to see the efficiency of the system made.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahiim... Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Proyek akhir ini dengan judul **STUDI EKSPERIMEN PENDING BEKU UNTUK PENDINGAN CABAI DENGAN VARIASI WAKTU DAN TEMPERATUR.**

Proyek akhir ini disusun berdasarkan observasi mendalam terhadap permasalahan yang terjadi di lapangan, untuk kemudian diselesaikan dengan analisis yang kuat dan dibantu dengan teori – teori penunjang yang relevan serta telah dipelajari sebelumnya.

Terwujudnya proyek akhir ini tidak luput dari peran pihak-pihak yang bersangkutan. Saya ucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Ir. Heru Mirmanto, MT. selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
2. Dr. Atria Pradityana, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi.
3. Bapak M.Lukman Hakim, ST., MT selaku dosen pembimbing 1 atas bimbingan dan arahan selama penulis mengerjakan Proposal Proyek Akhir ini.
4. Bapak Mashuri, S.Si., MT. selaku dosen pembimbing 2 atas bimbingan dan pendampingannya selama penulis mengerjakan Proposal Proyek Akhir ini.
5. Bapak Dedy Zulhidayat N, ST., MT, Ph.D dan Bapak Ir. Denny ME Soedjono, MT selaku dosen - dosen penguji yang telah memberikan masukan serta saran yang sangat bermanfaat untuk pengerjaan proyek akhir ini.
6. Orang Tua dan adik tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan semangat serta material.
7. Debora dan teman-teman DTMI Angkatan 2018 yang selalu membantu dan memberikan dukungan.

Penulis menyadari proyek akhir ini masih jauh dari kata sempurna, maka dari itu segala kritikan, saran maupun tanggapan dalam rangka pengembangan proyek akhir, akan sangat diterima. Semoga gagasan teknologi yang tertuang dalam proyek akhir ini bisa diambil kebermanfaatannya.

Surabaya, 23 Juni 2022

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	4
PERNYATAAN ORISINALITAS	5
ABSTRAK	6
ABSTRACT	7
KATA PENGANTAR.....	8
DAFTAR ISI	9
DAFTAR GAMBAR.....	11
DAFTAR TABEL	12
DAFTAR SIMBOL	13
BAB I PENDAHULUAN	14
1.1 Latar Belakang Masalah	14
1.2 Rumusan Masalah	14
1.3 Batasan Masalah.....	14
1.4 Tujuan Proyek Akhir	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	16
2.2 Cabai.....	16
2.2.1 Kandungan Cabai.....	17
2.2.2 Pembekuan Cabai	17
2.2 Kadar Air	18
2.3 Pengeringan	18
2.3.1 Pengeringan Tradisional	19
2.3.2 Pengeringan Oven.....	19
2.4 Pengeringan Beku.....	19
2.4.1 Prinsip Kerja Pengering Beku.....	22
2.4.2 Tahapan Pengeringan Beku	23
2.5 Sistem Refrigerasi	24
2.5.1 Siklus Ideal Sistem Refrigerasi	24
2.5.2 Kinerja Mesin Refrigerasi.....	25
2.6 Komponen Sistem Refrigerasi.....	25
2.6.1 Kompresor	25
2.6.2 Kondenser	26
2.6.3 Katup Ekspansi	27

2.6.4	Evaporator.....	27
2.6.5	Zat Pendingin.....	28
2.6.6	Komponen Pendukung Sistem.....	28
2.7	Referensi Mesin Pengering Beku.....	30
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN.....	32
3.1	Diagram Alir.....	32
3.2	Uraian Pengerjaan.....	33
3.2.1	Studi Literatur dan Observasi.....	33
3.2.2	Desain, Pemilihan Komponen dan Manufaktur Alat.....	34
3.2.3	Uji Coba Sistem Pendinginan.....	39
3.2.4	Analisis Data.....	42
3.3	Jadwal Kegiatan Proyek Akhir.....	43
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44
4.1	Desain, Pemilihan Komponen dan Assembly Alat.....	44
4.1.1	Desain Konstruksi Alat.....	44
4.1.2	Pemilihan Komponen dan Assembly.....	44
4.2	Data Kinerja Mesin Pendingin.....	48
4.2.1	Kinerja Mesin Pendingin.....	49
4.3	Hasil Uji Kadar Air Pengering Beku dengan Pembekuan -8 °C, Pemanasan 50°C dengan Variasi Waktu.....	51
4.3.1	Pembekuan dengan Temperatur -8°C.....	51
4.4	Perbandingan Pengurangan Massa Terhadap Waktu Pengeringan Tiap Variasi.....	57
4.5	Hasil Analisa <i>Moisture Content</i>	58
4.6	Hasil Analisa <i>Drying Rate</i>	59
4.7	Efisiensi Pengering Beku.....	61
4.7.1	Energi Input (Q_{in}).....	61
4.7.2	Energi Output (Q_{out}).....	61
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1	Kesimpulan.....	64
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA.....		65
LAMPIRAN.....		67
BIOGRAFI PENULIS.....		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Diagram Alir.....	33
Gambar 3. 3 Desain Alat Pengering Beku.....	34
Gambar 3. 4 Tabung Vakum	35
Gambar 3. 5 Heater.....	35
Gambar 3. 6 Kompresor 1 PK	36
Gambar 3. 7 Pipa Kapiler	36
Gambar 3. 8 Ketentuan Expansion Device.....	37
Gambar 3. 9 Pompa Vakum	38
Gambar 3. 10 Kondesor.....	38
Gambar 3. 11 Evaporator tipe helical coil.....	39
Gambar 3. 12 Diagram alir Uji Kinerja Mesin Pendingin.....	40
Gambar 3. 13 Diagarm alir Uji Pengering Beku	40
Gambar 4. 1 Desain Mesin Pengering Beku	44
Gambar 4. 2 Tabung Vakum	45
Gambar 4. 3 Heater.....	45
Gambar 4. 4 Kompresor yang digunakan.....	46
Gambar 4. 5 Expansion Device yang Digunakan.....	46
Gambar 4. 6 Pompa Vakum yang Digunakan	47
Gambar 4. 7 Kondenser yang Digunakan.....	47
Gambar 4. 8 Evaporator yang Digunakan	48
Gambar 4. 9 Gambar Mesin setelah dirangkai	48
Gambar 4. 10 Grafik Pembekuan	52
Gambar 4. 11 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu	53
Gambar 4. 12 Grafik Pembekuan Produk.....	54
Gambar 4. 13 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur Produk selama 3 Jam.....	55
Gambar 4. 14 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur pada Variasi 4 Jam	57
Gambar 4. 29 Grafik Penurunan Massa terhadap variasi waktu	58
Gambar 4. 30 Grafik Moisture Content terhadap Waktu Pengeringan	59
Gambar 4. 31 Grafik Drying Rate terhadap Moisture Content Pada Temperatur Pembekuan -8..	60
Gambar 4. 32 Grafik drying Rate terhadap Moisture Content pada temperature pembekuan -5...	60

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Tabel Hasil Kinerja Mesin Pendingin	48
Tabel 4. 2 Tabel Setting Awal Pengujian dengan Variasi 2 jam Pengeringan.....	51
Tabel 4. 3 Data Penurunan Temperatur Produk	51
Tabel 4. 4 Data Penurunan Massa Selama 2 jam	52
Tabel 4. 5 Data Setting Awal Pengujian dengan Variasi 4 Jam	53
Tabel 4. 6 Data Pembekuan.....	53
Tabel 4. 7 Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur selama 4 Jam	54
Tabel 4. 8 Setting Awal Parameter Dengan Variasi 6 jam.....	55
Tabel 4. 9 Data Pembekuan.....	55
Tabel 4. 10 Grafik Pembekuan Produk	56
Tabel 4. 11 Penurunan Massa pada variasi 6 jam	56
Tabel 4. 12 Penurunan Massa di setiap Variasinya.....	57
Tabel 4. 13 Data Massa akhir dan Moisture Content	58
Tabel 4. 14 Data Drying Rate.....	60
Tabel 4. 15 Energi Input.....	61
Tabel 4. 16 Energi Output	62
Tabel 4. 17 Efisiensi Energi	62

DAFTAR SIMBOL

W	= Bobot sampel sebelum dikeringkan (gr)
W_1	= Bobot sampel dan wadah kering (gr)
W_2	= Bobot wadah kosong (gr)
W_{comp}	= Daya kompresor (kJ/s)
h_1	= Enthalpy pada kompresor (kJ/Kg)
h_2	= Enthalpy pada kondensor (kJ/Kg)
\dot{m}	= Laju aliran refrigerant (kg/s)
Q_e	= Kapasitas refrigerasi (kW)
Q_c	= Kerja yang masuk (kW)
Q	= Beban Pendinginan (Watt)
Q_1	= Panas yang dibuang dari temperature awal ke temperatur dingin (Watt)
Q_2	= Panas yang dibuang dari temperature dingin ke titik beku (Watt)
Q_3	= Panas yang dibuang untuk membekukan produk (Watt)
Q_4	= Panas yang dibuang dari titik beku temperatur akhir (Watt)
U	= Koefisien konduktivitas thermal benda (W/m ² K)
ΔT	= Luas Permukaan (m ²)
T_1	= Temperatur Awal Produk (oc)
T_2	= Temperatur Dingin (oc)
T_f	= Temperatur Beku (oc)
h_{if}	= Enthalpy Air pada titik 1f (kJ/Kg)
m	= massa (kg)
c	= kalor jenis (J/kg ^o K)
Q_{produk}	= Kalor Total yang Dibutuhkan Sistem (Watt)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Pengeringan beku adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai kelebihan dibandingkan dengan metode pengeringan yang lain. Terutama dalam metode ini pengeringan dilakukan dalam temperatur rendah sehingga mengurangi adanya kerusakan produk akibat suhu tinggi, selain itu produk memiliki tampilan fisik yang menarik (Blok & Nieuwlaar, 2021). Ada 3 tahap dalam pengeringan beku, yaitu pembekuan, pengeringan primer dan pengeringan sekunder. Tahap pembekuan yaitu tahap produk dibekukan hingga semua bagian produk membeku. Selanjutnya adalah pengeringan primer dimana kandungan air dihilangkan dengan cara sublimasi. Tahap terakhir adalah pemanasan sekunder yaitu menghilangkan kandungan air yang tidak hilang dengan cara sublimasi (Hartuti & Sinaga, 1997).

Cabai merupakan salah satu tanaman bumbu dapur yang tumbuh subur di Indonesia. Kebutuhan akan cabai di Indonesia sangatlah tinggi mengingat citarasa masakan Indonesia kaya akan rempah-rempah (Pratoto & Huda, 2012). Cabai merupakan salah satu produk pertanian yang dapat dikeringkan menggunakan pengering beku. Cabai memiliki karakteristik sangat mudah rusak dan bersifat musiman. Ini menyebabkan petani cabai yang menerapkan teknologi budidaya akan memilih untuk menghasilkan cabai yang banyak pada musim panen raya. Hal ini menjadi masalah bagi petani cabai karena pada panen raya harga cabai turun dan mudah busuk (Lina, 2013).

Mesin pengering beku merupakan alat pengeringan yang termasuk ke dalam *conduction dryer/indirect dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah/lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas (Yulvianti et al., 2015). Pengeringan beku adalah salah satu metode pengeringan yang mempunyai keunggulan dalam mempertahankan mutu hasil pengeringan, khususnya untuk produk-produk yang sensitif terhadap panas. Keunggulan pengeringan beku adalah dapat mempertahankan stabilitas produk (menghindari perubahan aroma, warna, dan unsur organoleptik yang lain) dan dapat mempertahankan stabilitas struktur bahan (Pengerutan dan perubahan bentuk setelah pengeringan sangat kecil). Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Nofrianti, 2013) yang berjudul "Pengeringan Bengkuang dengan Sistem Pengeringan Beku Vakum (*Vacuum Freeze Drying System*)" juga merencanakan bagaimana cara pengeringan bengkuang dengan sistem *freeze drying*. Namun dalam penelitian kali ini, penulis akan merencanakan ulang sistem refrigerasi pengering beku tersebut, dan objek yang dibahas adalah cabai. Pengering beku merupakan suatu sistem yang didalamnya akan ada 2 proses sekaligus, yaitu pembekuan dan juga sublimasi. Untuk penjelasan lebih mendalam akan dibahas didalam bab selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada di atas, maka dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana desain alat pengering beku untuk beban 25 gr cabai ?
2. Berapakah efisiensi energi pengeringan pada alat pengering beku untuk pengeringan 25 gr cabai yang ditahan pada temperatur 50°C?
3. Berapakah laju pengeringan cabai dengan pengeringan beku ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian sehingga mudah dipahami dan penyusunannya lebih terarah, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem dikatakan berhasil apabila memenuhi parameter keberhasilan.
2. Penelitian difokuskan hanya menggunakan objek penelitian berupa cabai 25 gram dan temperatur pemanasan 50°C.
3. Biaya dalam produksi alat tidak dibahas.
4. Proses Manufaktur dalam produksi alat tidak dibahas.

1.4 Tujuan Proyek Akhir

Berdasarkan rumusan masalah yang ada diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisa performa alat pengering beku untuk pengeringan cabai 25 gr
2. Mendapatkan desain alat pengering beku untuk 25 gr cabai.
3. Menganalisa laju pengeringan cabai dengan pengeringan beku.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Pada penelitian pengeringan cabai ini kami merujuk pada hasil penelitian sebelumnya, diantaranya penelitian pertama adalah “PENGARUH SUHU PENGERINGAN YANG BERBEDA TERHADAP KUALITAS CABAI RAWIT (*Capsicum frutescens* L.)” dilakukan oleh Evi Ari Parfiyanti dengan hasil Cabai rawit yang dikeringkan pada suhu 50°C dapat menunjukkan hasil terbaik untuk mempertahankan warna dan tekstur cabai. Kandungan vitamin C tertinggi terdapat pada suhu 50°C yang menunjukkan angka 63,287 mg%. Suhu pengeringan 70°C memberikan susut bobot tertinggi yaitu sebesar 3,833% dan memberikan kadar air terendah yaitu sekitar 72,4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pengeringan berpengaruh terhadap perubahan kualitas cabai yang menunjukkan hasil dapat menurunkan susut bobot buah, kadar air cabai, kandungan vitamin C serta warna dan tekstur cabai.

Untuk pengeringan beku, beberapa penelitian terdahulu yang menjadi rujukan diantaranya adalah penelitian yang berjudul “PENGEMBANGAN PENGERING BEKU PEMBEKUAN VAKUM DENGAN PEMANASAN KONDENSER” dilakukan oleh Belyamin yang memiliki hasil yaitu Rancang bangun alat pengering beku pembekuan vakum dengan pemanasan kondensor telah berhasil. Hal ini dibuktikan dengan tekanan kerja selama pengujian dapat mencapai -1 hingga 3 milibar selain itu pula suhu ruang chamber mencapai minus atau dibawah 0°C. Kondensor juga dapat menghasilkan panas dengan suhu kondensor yang dapat mencapai 35°C. Penelitian terdahulu yang kedua adalah “PEMANFAATAN AMPAS KELAPA SEBAGAI BAHAN BAKU TEPUNG KELAPA TINGGI SERAT DENGAN METODE FREEZE DRYING” dilakukan oleh Meri Yulvianti yang memiliki hasil yaitu proses pengeringan ampas kelapa dengan metode freeze drying dipengaruhi oleh waktu pengeringan, yang ditunjukkan oleh perbedaan pada mutu gizi meliputi protein, lemak, serat kasar, dan kadar air. Semakin lama waktu pengeringan kandungan gizi dalam tepung ampas kelapa akan semakin meningkat. Waktu pengeringan yang efisien dilakukan selama 1 hari (24 jam), karena kandungan serat lebih tinggi dan lemak lebih rendah pada pengeringan selama 24 jam. Selain itu, biaya pengeringan selama 24 jam lebih ekonomis dibandingkan pengeringan selama 48 jam. Proses pengeringan Freeze Drying dengan lama pengeringan 24 jam, menghasilkan: Protein 4,12%, Lemak 12%, Serat Kasar 37, 1% dan kadar air sebesar 0,33%. Kemudian hasil penelitian terdahulu ketiga yang menjadi rujukan adalah penelitian yang berjudul “EFISIENSI MESIN PENGERING BEKU VAKUM PADA PENGERINGAN CABAI MERAH (*Capsicum annum* L.)” yang dilakukan oleh Fadarina dengan hasil yaitu Cabai kering yang dihasilkan dari pengering beku vakum telah memenuhi kadar air yang sesuai dengan SNI No. 01-3389-1994, yaitu pada temperatur 50°C dan 55°C dengan kadar air 10,66% dan 9,50%.

2.2 Cabai

Cabai (*Capsicum annum* L.) merupakan tanaman hortikultura sayur-sayuran buah semusim untuk rempah rempah yang diperlukan oleh seluruh lapisan masyarakat sebagai penyedap masakan dan penghangat badan (Habibi et al., 2019). Cabai merupakan jenis sayuran yang banyak diusahakan karena memiliki nilai ekonomi yang tinggi. Orang Indonesia yang menyukai sambal dan masakan yang pedas banyak membutuhkan cabai setiap hari. Tanaman cabai dapat hidup pada daerah yang memiliki ketinggian antara 0-1.200 mdpl (Artiana et al., 2011).

Tanaman cabai atau Lombok termasuk ke dalam *famili Solonaceae*. Jenis Cabai (*Capsicum SP*) banyak sekali, yang umum dikonsumsi digolongkan dalam 2 jenis, yaitu cabai besar (*Capsicum Annum*) dan cabai rawit (*Capsicum Frutescens*) alias cabai kecil. Cabai rawit sering dikonsumsi ternyata mengandung berbagai zat yang dibutuhkan tubuh. Kandungan terbanyak dalam cabai rawit segar adalah vitamin A sebesar 11.050 IU per 100 gram bahan (FERNANDO L, 2009). Cabai rawit merupakan bahan pangan yang bermanfaat untuk berbagai campuran. Pada umumnya cabai rawit dimanfaatkan sebagai sayur, sambel, aneka bumbu, lalapan dan banyak lagi (Zakaria et al., 2017).

2.2.1 Kandungan Cabai

Tabel 2. 1 Kandungan Gizi Cabai

Kandungan	Kadar
Air	90,9 gr
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
Betakaroten	5800 mikrogram
Niacin	3 mg
Vitamin C	18 mg

2.2.2 Pembekuan Cabai

Pembekuan adalah penyimpanan bahan pangan dalam keadaan beku. Pembekuan yang baik biasanya dilakukan pada suhu -12 sampai -24°C (Kosasih et al., 2020). 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 (Sesugh Solomon et al., 2019).

2.2 Kadar Air

Tabel 2. 2 Kandungan Kadar Air

Bahan baku/ produk jadi pangan	Suhu penyimpanan (°C)	Kelambaban / Humidity (% RH)
Buah segar – potong, sayuran	0 – 2	90 – 98
telur, susu, butter	7 – 10	85 – 95
Melon, pisang, kentang, groceries	16 – 18	90 – 98
Daging / ikan – fresh	0 – 1	90 – 95
Daging / ikan – frozen	-18 ke bawah	90 – 95
Apel	0 – 4	90 – 95
Akar bit, kubis	0	95 – 99
Wortel	0	98 – 99
Bunga kol	0	95
Timun	10 - 13	90 – 95
Terong	8 - 10	90 - 95
Selada	1	95 – 99
Daun bawang	0	95
Jeruk	0 - 4	85 – 90
Buah pir	0	90 – 95
Labu	10 - 13	70 - 75
Bayam	0	95
Tomat	13 - 21	85 - 90
Anggur, kurma segar, apricot	0	80 – 90
Jamur	0	90 – 95
Pisang, durian (setengah matang)	14 - 16	80 – 90
Coklat	15 - 18	50 – 60
Durian (matang)	4 - 6	80 – 90
Kue	4 - 8	60 – 70
Ice cream	-20	-
Jus buah-buahan	-2 - 0	-
Kentang beku	-10 - 0	-

Kadar air digunakan untuk mengetahui jumlah kandungan air dalam rimpang cabai. Kadar air yang tinggi dapat menyebabkan ketidakstabilan rimpang cabai selama penyimpanan akibat pertumbuhan mikroorganisme (Dincer & Zamfirescu, 2014). Air merupakan media pertumbuhan yang baik untuk mikroorganisme karena air merupakan komponen terbesar dari sel sehingga mikroorganisme membutuhkan air untuk hidup (Wang et al., 2022).

Dalam menghitung kadar air hasil pengeringan maka ada beberapa cara dalam menghitung kadar air tersebut, yaitu :

a. Moisture Content

Moisture content merupakan persen kadar air yang terdapat pada produk yang dirumuskan sebagai berikut (Arora, 2009) :

$$M_c(\%) = \frac{m_{wet\ air} - m_{dry\ air}}{m_{wet\ air}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

M_c = Moisture Content
 m_{wet} = Massa Awal (Kg)
 m_{air} = Massa Akhir (Kg)

b. Laju Pengeringan

Laju pengeringan didefinisikan sebagai banyaknya kadar air yang dilepaskan oleh produk pengeringan dalam jangka waktu tertentu. Laju pengeringan dapat dirumuskan sebagai berikut (Hardwick et al., 2013).

$$DR = \frac{\Delta M_c}{\Delta t} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

DR = Laju pengeringan
 ΔM_c = Perubahan Moisture Content
 Δt = Perubahan Waktu

2.3 Pengeringan

Secara Bahasa, pengeringan dapat diartikan memindahkan atau mengambil kandungan zat cair dari suatu bentuk, baik gas dan padat (Arsiccio et al., 2020). Pada zat padat, zat cair yang biasa dipindahkan dari zat padat adalah air. Contohnya adalah pada saat pengeringan

baju, dimana baju bertindak sebagai zat padat dan air dari baju tersebut adalah zat cair (Parker & Smith, 2007).

Saat ini telah banyak pengembangan yang telah dilakukan untuk melakukan pengeringan dengan berbagai karakteristik. Karakteristik yang biasa digunakan adalah ukuran bahan yang dikeringkan, durasi pengeringan, tekanan saat proses pengeringan, dan karakteristiknya. Dalam merancang suatu pengering, menurut pada pendapat (Subakti, 2014), mengatakan bahwa tidak ada satu prosedur perancangan khusus yang mungkin diterapkan untuk seluruh atau beberapa jenis mesin pengering sekalipun. Maka dari itu, ketika seseorang ingin merancang dan atau menganalisa suatu alat pengering maka perlu mengacu kembali pada dasar-dasar ilmu yang ada seperti perpindahan panas, massa serta proses termodinamika yang dikaitkan dengan pengetahuan sifat bahan dan lain sebagainya (Fissore et al., 2020).

Suatu proses/teknologi pasti memiliki kekurangan dan kelebihan. Begitupun dengan proses pengeringan, kekurangan yang pertama adalah berkaitan dengan mutu produk pengeringan (Handayani et al., 2022). Dalam proses pengeringan sangat memungkinkan adanya perubahan secara fisik maupun kimia didalam produknya. Perubahan yang mungkin terjadi diantaranya pengerutan, penggumpalan, keropos dll. Sedangkan perubahan kimia yang bisa terjadi diantaranya adalah perubahan aroma, warna, tekstur, dll. Kekurangan yang kedua adalah berkaitan dengan kapasitas, seperti kita tahu kebutuhan pengeringan saat ini sangatlah tinggi, maka perlu ada jalan keluar untuk mengatasi kekurangan tersebut. Kekurangan selanjutnya adalah berkaitan dengan bahan yang dikeringkan cukup beranekaragam dan beberapa dari bahan tersebut membutuhkan perlakuan khusus (Psimadas et al., 2012). Dari kekurangan-kekurangan yang ada pada proses pengeringan, maka diperlukan inovasi dan modifikasi dari proses pengeringan tradisional menjadi proses pengeringan yang lebih menyesuaikan dengan karakter produk yang akan dikeringkan.

2.3.1 Pengeringan Tradisional

Pengeringan tradisional yang biasa dilakukan adalah dengan memanfaatkan energi panas dari matahari. Pengeringan ini biasa dilakukan dengan menjemur bahan yang akan dikeringkan di lapangan atau dibawah matahari secara langsung. Pengeringan dengan menggunakan sinar matahari memang bisa efektif, karena suhu yang dicapai sekitar 35°C sampai 40°C. Pengeringan ini tidak membutuhkan biaya yang besar tetapi ada beberapa kekurangan, yaitu suhu pengeringan dan kelembaban tidak dapat di kontrol, hanya berlangsung bila ada sinar matahari dan pengeringan tidak konstan (Ulfa & Dewi, 2022).

2.3.2 Pengeringan Oven

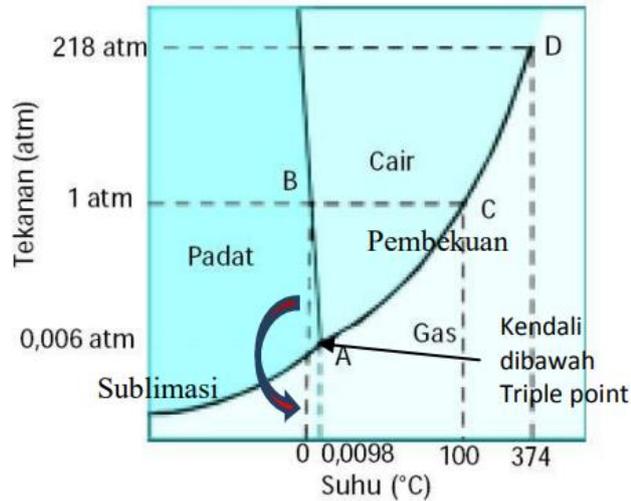
Oven merupakan alat yang sangat mudah dalam penggunaannya. Alat ini menggunakan sumber panas dari tenaga listrik. Keuntungan dengan pengeringan oven antara lain suhu dan kelembaban dapat diatur, ukuran oven dapat disesuaikan dan dapat bekerja siang dan malam. Kekurangan pengeringan oven adalah produk yang dihasilkan memiliki kandungan gizi yang rendah, dikarenakan pemanasan dalam temperatur tinggi membuat kandungan gizi produknya hilang (Nakagawa et al., 2021). Selain itu tekstur yang dihasilkan relative jelek seperti berwarna agak gosong, rapuh dan beberapa kondisi lainnya.

2.4 Pengeringan Beku

Pengeringan Beku (lyophilization) adalah proses suatu larutan dikristalkan terlebih dahulu pada temperature rendah untuk selanjutnya mengalami proses sublimasi secara langsung dari padat menjadi uap (Parker & Smith, 2007). Dalam pengeringan beku,

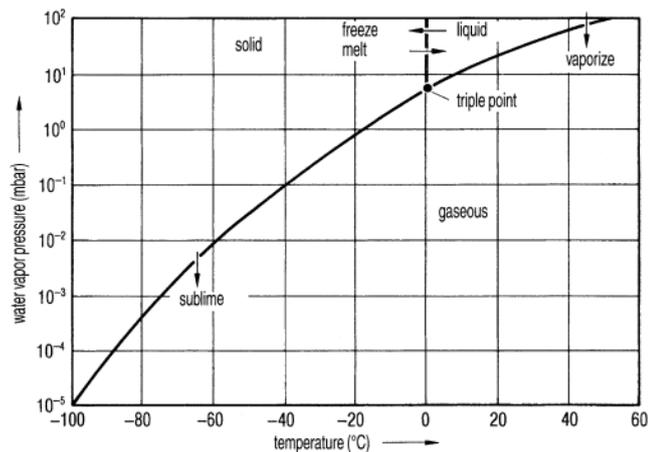
perpindahan panas ke daerah pengeringan dapat dilakukan oleh konduksi atau pemancaran oleh gabungan kedua cara tersebut.

Sebagian besar proses pengeringan beku menggunakan air sebagai bahan pelarutnya. Dalam proses pengeringan beku, salah satu teori yang digunakan adalah triple point. Triple point adalah titik dimana titik tersebut adalah perpotongan antara wujud zat cair, padat dan gas (Arora, 2009). Berikut titik triple point dalam grafik tekanan terhadap temperature.



Gambar 2. 1 Titik Triple Point
(C.P Arora, 2009)

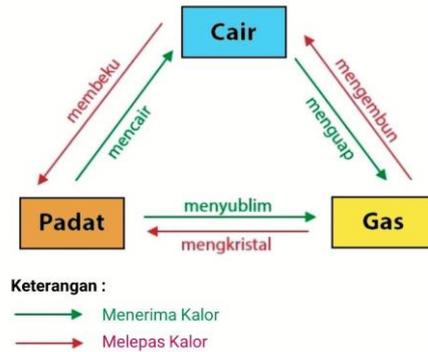
Pada titik triple point tersebut akan ada kemungkinan terjadi perubahan fase dari padat ke uap. Proses tersebut relatif terjadi pada air murni. Tujuan pengeringan beku adalah untuk mendapatkan suatu produk yang stabilitasnya baik dan juga dapat melakukan pengeringan yang dapat mengurangi air hingga 90% dan juga dapat mempercepat waktu pengeringan. Dalam perubahan zat, zat padat akan mengering jika kandungan zat cair pada zat padat tersebut menguap dan diserap oleh udara sekitar (Rambhatla et al., 2006).



Gambar 2. 2 Titik Triple Point Air
(C.P Arora, 2009)

Dari diagram fase diatas, ada kemungkinan bahwa uap zat cair yang diambil dari zat padat yang dikeringkan bisa diserap oleh udara di sekitar zat padat tersebut. Agar udara bisa menyerap uap zat cair, dapat dilakukan dengan mengubah kondisi dari udara tersebut,

perubahan yang dapat dilakukan adalah merubah temperatur udara tersebut, kelembaban, laju aliran udara tersebut, tekanan udara dan lain sebagainya. Dalam kondisi setimbang suatu zat akan memiliki 3 fase yaitu padat, cair dan gas bergantung pada tekanan dan temperatur zat tersebut. Pada saat air berada di triple point, maka air tersebut bisa berbentuk padat, cair dan gas. Perubahan bentuk suatu zat biasa disebut perubahan fase(Nofrianti, 2013). Air sendiri memiliki 6 perubahan fase, yaitu padat ke cair(mencair), cair ke padat (membeku), cair ke gas (menguap), gas ke cair (kondensasi), padat ke gas (sublimasi), gas ke padat (deposisi). Pada perubahan fase air, untuk sublimasi dan deposisi membutuhkan kondisi yang khusus untuk bisa terjadi.



Gambar 2. 3 Skema Perubahan Wujud Zat

(<https://pulpent.com/macam-macam-perubahan-wujud-zat-dan-contohnya/>)

Berikut adalah beberapa keuntungan yang bisa didapat Ketika menggunakan pengering beku untuk mengeringkan suatu bahan, yaitu :

- a. Sangat menguntungkan pada bahan yang memiliki sensitivitas panas tinggi karena dengan pemrosesan di temperatur yang rendah dapat mengurangi degradasi kandungan mineral.
- b. Produk yang dikeringkan bisa ditakar dengan akurat.
- c. Selama proses pengeringan pengendalian kandungan air dari produk dapat dilakukan.
- d. Tampilan yang bagus dari produk yang telah dikeringkan.

Produk yang sudah kering mudah dilarutkan kembali dengan air dikarenakan memiliki stabilitas yang baik.

Tidak ada suatu sistem yang sempurna, dibalik beberapa keuntungan yang didapat masih ada beberapa kekurangan yang dimiliki oleh pengering beku, diantaranya :

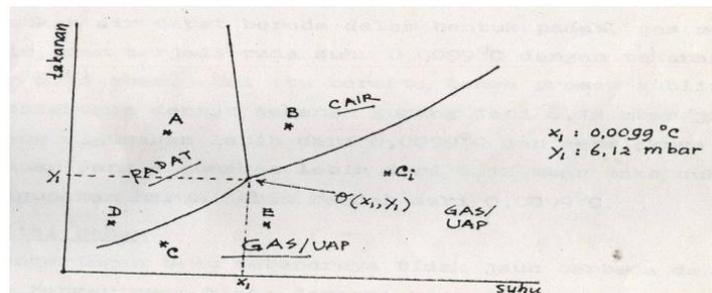
- a. Untuk pengadaan, pengoperasian dan perawatannya membutuhkan biaya yang besar.
- b. Dalam proses pembuatannya membutuhkan tenaga ahli karena kompleksitas yang harus dikerjakan.
- c. Laju pengeringan alat yang lambat.

Dalam proses pengeringan beku, terdapat dua tahapan yang ada dalam proses tersebut, yaitu tahap pembekuan dan tahap pengeringan, dimana pengeringan disini adalah proses sublimasi, merubah zat cair yang beku langsung menjadi gas. Pada proses sublimasi, ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melakukan sublimasi. Pada penelitian sebelumnya sudah ada beberapa alternatif proses sublimasi yang dilakukan(Pratoto & Huda, 2012). Untuk proses sublimasi, (Fadarina & Fajar, 2020) melakukan penelitian pengeringan beku dengan memanfaatkan pembekuan vakum dan pemanasan dari bawah atau bisa disebut menggunakan heater.

Untuk penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemanas (Heater) dimana sumber panas dari listrik yang akan membantu proses sublimasi dan mengeluarkan sebagian air yang masih berada pada zat yang dikeringkan. Dalam pengeringan beku ini energi yang digunakan meliputi energi pembekuan, energi pengeringan dan energi komponen pendukung seperti energi vakum, dll.

2.4.1 Prinsip Kerja Pengering Beku

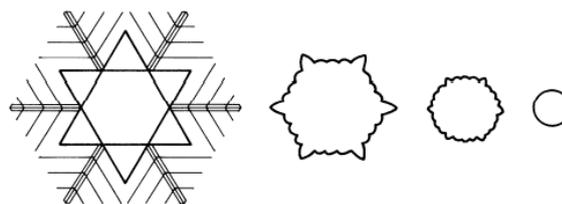
Untuk penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemanas (Heater) dimana sumber panas dari listrik yang akan membantu proses sublimasi dan mengeluarkan sebagian air yang masih berada pada zat yang dikeringkan. Dalam pengeringan beku ini energi yang digunakan meliputi energi pembekuan, energi pengeringan dan energi komponen pendukung seperti energi vakum, dll.



Gambar 2. 4 Titik Triple Point

(<https://nurulimantmunib.wordpress.com/tag/triple-point/>)

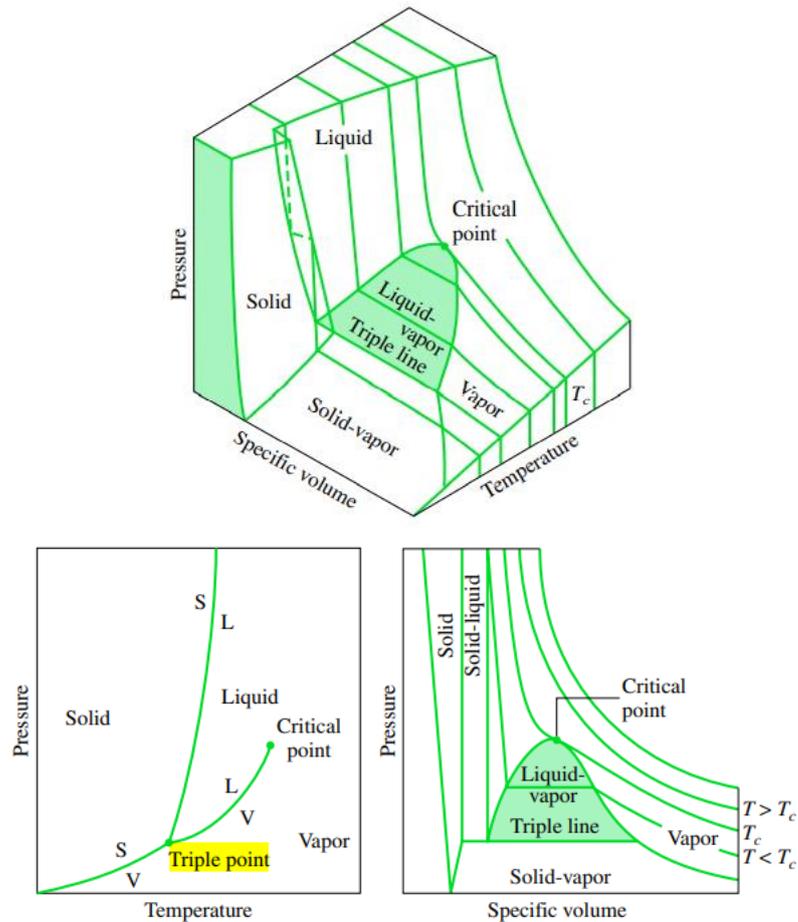
Titik triple terletak pada temperature 0,01 oc dan tekanan 0,61 kPa, maka proses pengeringan beku harus dilakukan pada kondisi dibawah temperatur dan tekanan tersebut. Tekanan kerja yang biasa digunakan di dalam ruang vakum adalah 60-600 Pa atau 0,0087-0,087psi. Pada saat pembekuan terbentuk kristal-kristal es di dalam bahan, yang mana saat pengeringan kristal es tersebut akan tersublimasi dan meninggalkan rongga (pori) didalam bahan. Bahan yang bersifat porous setelah pengeringan menyebabkan bentuk bahan tidak mengalami perubahan yang besar dibandingkan sebelumnya, serta proses rehidrasi air (pembasahan Kembali) lebih baik daripada proses pengeringan lainnya.



Gambar 2. 5 Perubahan partikel air

(<http://www.biomagz.com/2016/04/pengertian-dan-contoh-perubahan-fisika.html>)

Pengeringan beku adalah teknik yang menggunakan prinsip pengeringan berupa sublimasi pada bahan beku menjadi lebih cepat kering pada temperature rendah untuk mendapatkan produk yang memiliki volume yang mengecil(Fadarina & Fajar, 2020). Kondisi yang tepat untuk mendukung proses tersebut adalah saat tekanan sistem dibawah tekanan atmosfer atau biasa disebut tekanan vakum. Sehingga produk bisa langsung tersublimasi dalam proses penguapan.



Gambar 2. 6 Titik Triple Point pada wujud tertentu (C.P Arora, 2009)

Prinsip dasar dalam pengeringan beku adalah sublimasi, pergerakan dari padat langsung ke gas. Seperti penguapan, sublimasi terjadi ketika molekul mendapatkan energi yang cukup untuk membebaskan diri dari molekul disekitarnya. Sehingga air akan menyublim dari padat (es) menjadi gas (uap). Ada dua faktor utama yang menentukan fase zat (padat, cair atau gas) yakni tekanan dan suhu atmosfer (Leviana & Paramita, 2017).

2.4.2 Tahapan Pengeringan Beku

Pengeringan beku terutama digunakan untuk menghilangkan air pada produk-produk yang sensitif. Sebagian besar dari produk biologis, tanpa merusak produk tersebut, sehingga mudah untuk diawetkan secara permanen dan dapat dilarutkan hanya dengan menambahkan air. Contoh produk pengeringan beku adalah : antibiotik, bakteri, serum, vaksin, obat-obatan, produk bioteknologi yang mengandung protein, sel dan jaringan, serta sayuran dan buah-buahan. Produk yang akan dikeringkan akan divakum hingga tekanan dibawah atmosfer. Kemudian pada fase pengeringan awal disebut sebagai pengeringan primer (pembekuan), air (dalam bentuk es) dihilangkan dengan cara sublimasi. Pada fase kedua, disebut dengan pengeringan sekunder, air dihilangkan dengan desoprsi. Pengeringan beku dilakukan pada tekanan vakum.

a. Pembekuan

Dalam proses pembekuan, komponen yang paling penting adalah pendinginan sampai temperature yang membuat dan komponen padatan pada zat tersebut mengkristal secara menyeluruh. Proses kristalisasi bisa dipengaruhi

oleh beberapa elemen diantaranya : laju pendinginan, konsentrasi struktur bahan, temperature akhir pendinginan, jangka waktu yang dibutuhkan untuk pendinginan hingga pembekuan.

b. Pengeringan Primer

Fase kedua pengeringan beku adalah pengeringan primer (sublimasi). Dimana tekanannya diturunkan dan panas ditambahkan ke produk agar air dapat menyublim. Ketika kondensor dingin, hal tersebut akan membuat uap air melekat dan memadat. Kondensor juga melindungi pompa vakum dari uap air. Sekitar 95% air dalam produk dapat dihilangkan dalam fase ini. Pengeringan primer dapat terjadi secara lambat. Terlalu banyak panas yang dimasukkan ke produk dapat mengubah struktur material.

c. Pengeringan Sekunder

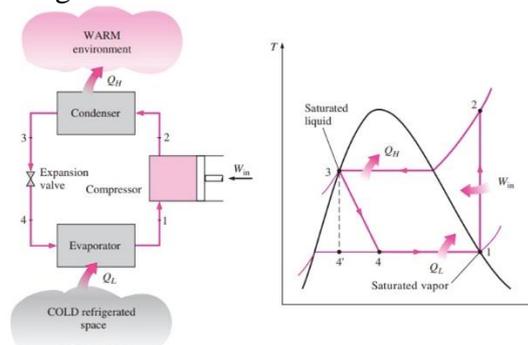
Fase akhir pengeringan beku adalah pengeringan sekunder (Adsorpsi), dimana molekul air yang terikat secara ionik dihilangkan. Dengan menaikkan temperature lebih tinggi dari fase pengeringan primer. Produk yang telah kering dan beku akan mempertahankan struktur berpori. Sebagian besar produk dapat dikeringkan hingga kadar kelembaban 1-5%.

2.5 Sistem Refrigerasi

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

2.5.1 Siklus Ideal Sistem Refrigerasi

Siklus ideal sistem refrigerasi merupakan inovasi dari reversed carnot cycle melalui proses evaporasi gas refrigerant sebelum dikompresikan dan dengan mengganti peran turbin dengan katup ekspansi atau pipa kapiler. Berikut adalah gambar siklus system refrigerasi.



Gambar 2. 7 Siklus Sistem Refrigerasi
(C.P Arora, 2009)

Dengan penjabaran siklus untuk tiap-tiap Langkah sebagai berikut :

1. Proses 1-2 Kompresi isentropik refrigeran dari kondisi 1 ke tekanan kondensor pada kondisi 2.
2. Proses 2-3 Perpindahan panas dari refrigeran saat refrigeran mengalir pada tekanan konstan melalui kondensor. Refrigeran keluar sebagai cairan pada kondisi 3.
3. Proses 3-4 proses pelambatan dari keadaan 3 ke campuran uap-cair dua fase pada tahap 4.

4. Proses 4-1 perpindahan panas ke refrigeran saat refrigeran mengalir pada tekanan konstan melalui evaporator untuk menyelesaikan siklus.

Gas refrigerant mengalami penurunan tekanan saat melewati katup ekspansi sehingga lebih rendah daripada temperature ruangan yang didinginkan kemudian memasuki evaporator dan menguap dikarenakan menyerap panas dari ruangan yang didinginkan. Gas keluar dari evaporator dalam kondisi saturated vapor lalu memasuki kompresor dan melanjutkan siklus pendinginan (Arora, 2009).

2.5.2 Kinerja Mesin Refrigerasi

a. Kerja Kompresi

Efek kompresi dibuktikan dengan proses 1-2 (Gambar 2.6). Menggunakan persamaan keseimbangan energi, lalu kerja kompresi dapat dinyatakan sebagai :

$$W_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (2.3)$$

(Ananingsih et al., 2017)

b. Kapasitas Refrigerasi

Kapasitas pendinginan menunjukkan jumlah panas yang diserap oleh refrigerant. Proses ini terjadi di evaporator digambarkan oleh proses 4-1. Persamaannya adalah :

$$Q_e = \dot{m}(h_1 - h_2) \quad (2.4)$$

c. Coefficient of Perform

Nilai COP menunjukkan efisiensi mesin pendingin. Nilai yang diperoleh kapasitas pendinginan kerja kompresi bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$COP = \frac{Q_e}{Q_c} \quad (2.5)$$

(Ziliwu & Siahaan, 2020)

2.6 Komponen Sistem Refrigerasi

Dalam alat pengering beku dengan pemvakuman ini, digunakan heater untuk membantu mengeringkan produk didalam tabung(chamber). Maka dari itu diperlukan suatu sistem pendingin yang berfungsi sebagai sistem pendukung (support system) dari proses pengeringan produk. Refrigeration unit yang digunakan adalah sistem refrigerasi One Stage Flow yang komponennya terdiri dari

2.6.1 Kompresor

Kompresor merupakan komponen yang penting dalam sistem refrigerasi yang berfungsi untuk mendorong gas refrigerant secara terus menerus dari evaporator sehingga tekanan dan temperature yang rendah didalam evaporator dapat dipertahankan. Kompresor harus mampu menaikkan tekanan refrigerant pada tingkatan dimana dapat mengondensasi dalam kondensor. Kompresor yang digunakan dalam sistem ini adalah jenis kompresor Hermetik (Scroll). 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 diperlukan mekanisme pendinginan dengan melewati gas refrigerant melalui motor penggerak sehingga diperlukan jenis high dielectric refrigerant sehingga kebakaran akibat kontak listrik dapat dihindari. Kompresor hermetik

memiliki kerapatan yang tinggi sehingga memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval temperature yang rendah namun efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan open compressor dikarenakan sebagian aliran refrigerant digunakan untuk mendinginkan kompresor.



Gambar 2. 8 Kompresor 1 PK

(<https://polarin.co.id/product/kompresor-ac-1-pk-panasonic-seri-2ps/>)

2.6.2 Kondenser

Pada prinsipnya kondensor maupun evaporator merupakan komponen perpindahan panas dimana gas refrigerant mengalami perubahan fase. Didalam kondensor refrigerant 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. Kondensor yang digunakan pada sistem ini adalah kondensor yang menggunakan pendinginan paksa. Terdapat 2 jenis pendinginan yaitu konveksi alami dan konveksi paksa dimana pada konveksi alami proses perpindahan panas terjadi disebabkan adanya gaya buoyancy akibat perbedaan temperature 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. 9 Kondensor

[\(https://wuling.id/id/blog/autotips/fungsi-kondensor-mobil-dan-cegah-kerusakannya/\)](https://wuling.id/id/blog/autotips/fungsi-kondensor-mobil-dan-cegah-kerusakannya/)

2.6.3 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 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 2 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. Jenis yang kedua ini memiliki beberapa tipe antara lain :

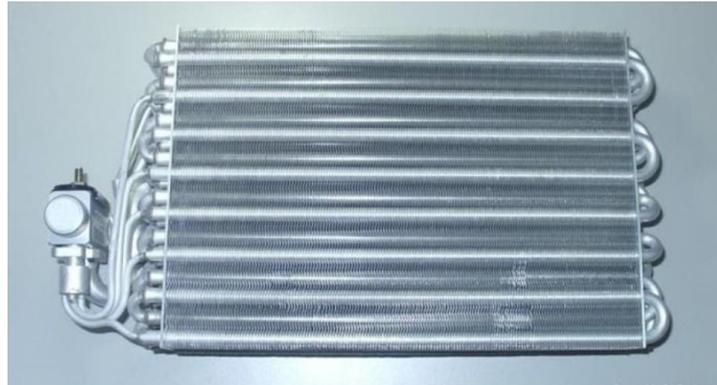


Gambar 2. 10 Katup Ekspansi

<https://indonesian.alibaba.com/product-detail/original-expansion-valve-bus-expansion-valve-1714511891.html>

2.6.4 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 dalam sistem pengering beku ini difungsikan juga sebagai perangkap (cold trap) uap air hasil sublimasi didalam ruang pengering.



Gambar 2. 11 Evaporator
(<https://auto2000.co.id/berita-dan-tips/fungsi-evaporator-ac>)

2.6.5 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. Beberapa kriteria yang diperlukan dalam pemilihan refrigerant antara lain :

- a. Suction Pressure : dimana dengan temperature kerja evaporator, tekanan saturasi hendaknya diatas tekanan atmosfer guna menghindari udara masuk ataupun embun masuk ke dalam sistem serta supaya mudah dalam mendeteksi adanya kebocoran. Tekanan yang lebih tinggi lebih baik karena dapat meringankan kerja kompresor.
- b. Discharge Pressure : dimana dengan temperature 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 pendingin menjadi kecil.
- e. Isentropic index of compression : hendaknya serendah mungkin sehingga kenaikan temperature selama proses kompresi menjadi rendah.
- f. Liquid specific heat : hendaknya serendah mungkin sehingga derajat temperature 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 system.

2.6.6 Komponen Pendukung Sistem

a. 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. 12 Oil Separator

(<https://www.tokopedia.com/sejuksegar/emerson-oil-separator-7-8-awz-55877>)

b. 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 dihubungkan secara permanen.



Gambar 2. 13 Filter Dryer

(<https://elgracool.pl/product-eng-591-Filter-dryer-Castel-DF316-5-5-8.html>)

c. 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

akumulator akan diupkan untuk menjamin saluran masuk yang menuju kompresor berisi uap.



Gambar 2. 14 Accumulator

(<https://hvactutorial.wordpress.com/sectioned-components/suction-accumulator/>)

2.7 Referensi Mesin Pengering Beku

Berikut adalah referensi spesifikasi alat pengering beku di marketplace [Alibaba](#) dengan tipe vacuum drying equipment :

Freeze-dried

Product Highlights

- **1- Efficient in heating plates**
The material of heating plates is aviation aluminum after being anodized on the surface, releasing over 100% heat from the product by radiation. This makes heat more uniform and complete.
- **2- Alternate vapor trap**
Double trap is installed under the heating plates in drying chamber. Trap 1 condenses vapor to its maximum capacity, then trap 2 starts to work. In the meantime, trap 1 begins to melt ice for another condensation cycle.
- **3- Continous de-icing**
When the trap 2 begins to catch vapor, the trap 1 begins to melt ice on the coil during drying. After melting, the clean coil is ready for another condensation cycle.
- **4- Automatic control system**
Advanced intelligent control system keeps the system running stably and reliably in a long time. Furthermore, simple operation can be much easier to handle.

Gambar 2. 15 Freeze Drying di luar negeri

(<https://greatmachineryequipment.com/en/products/Vacuum-lyophilizer/vacuum-freeze-dryer.html>)

Model	Nominal drying area	Tray size	Capacity for raw material	Heating method	Heating plates height
DG-10	1 set	540*1000*30mm	100kg/batch	Electricity	90mm
DG-20	1 set 20.6 m2	610*610*35mm	200kg/batch	Steam	90mm
DG-50	1 set 50.6 m2	610*610*35mm	500kg/batch	Steam	90mm
DG-100	1 set 100.8 m2	610*610*35mm	1000kg/batch	Steam	90mm
DG-200	2 sets*206m3	610*610*35mm	2000kg/batch	Steam	90mm

Gambar 2. 16 Tabel spesifikasi freeze drying yang ada

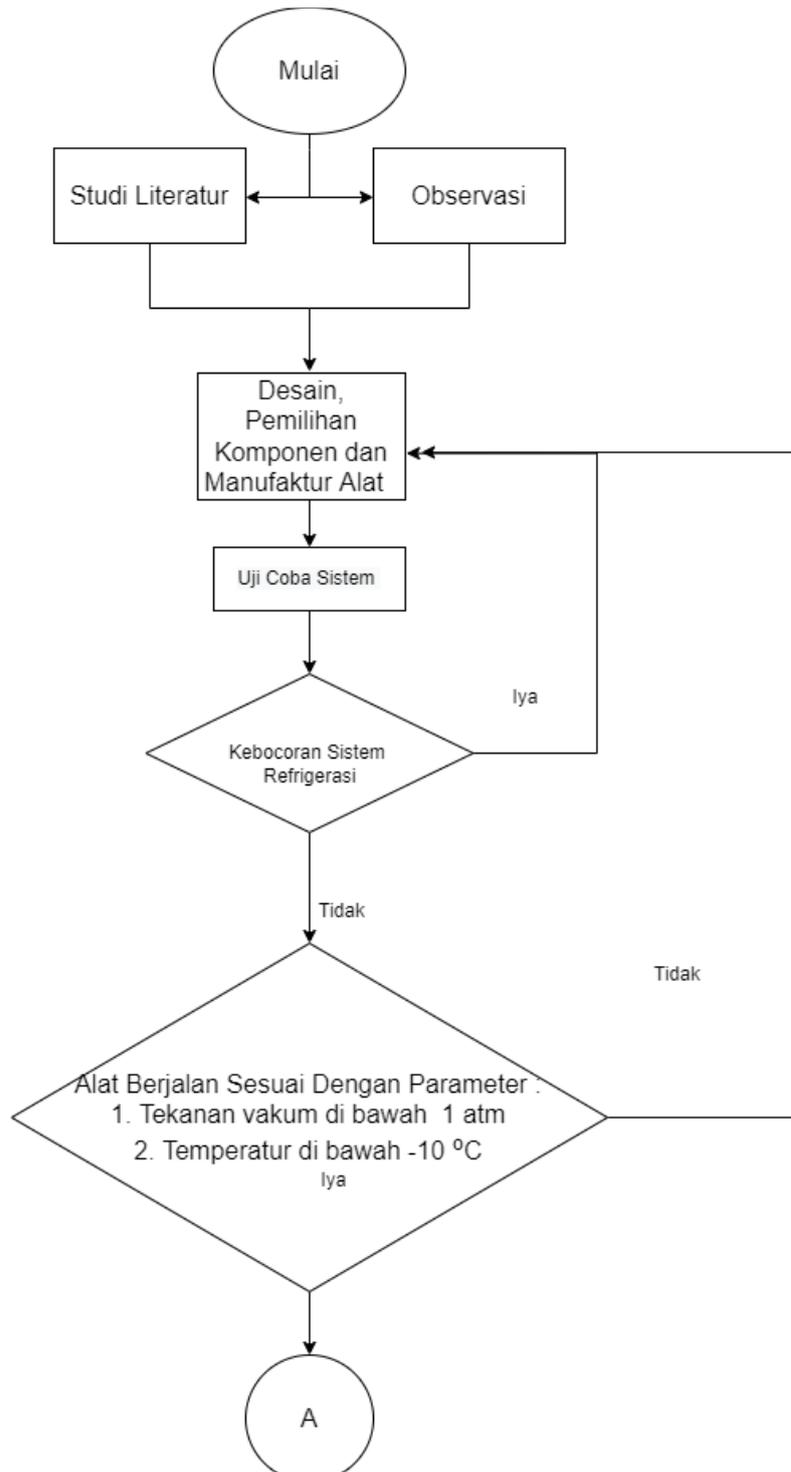
Spesifikasi

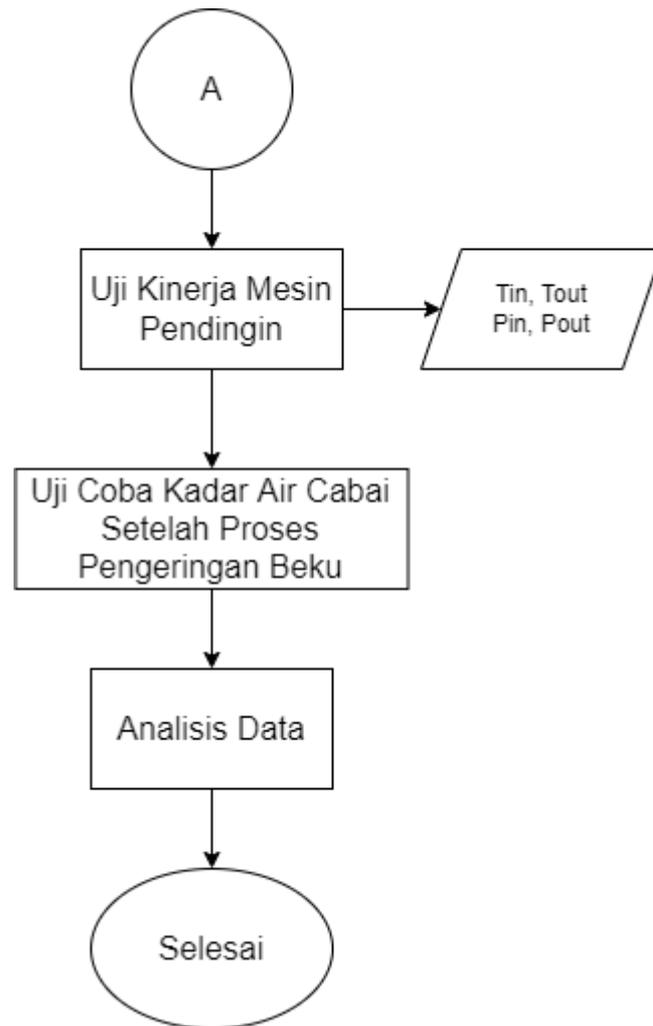
- Drying Capacity (kg)* : 100-2000kg/Batch
- Application* : Medicine Processing, Food Processing
- Place of Origin* : Shandong, China
- Brand Name* : TCA
- Voltage* : Customized
- Power* : Customized
- Dimension(L*W*H)* : Customized
- Key Selling Points* : Automatic
- Weight (KG)* : 500
- Applicable Industries* : Machinery Repair Shops, Food & Beverage Factory
- Core Components* : Gearbox, PLC
- Evaporation Capacity(kg/h)* : According To Output
- Heating Method* : Customized
- Material* : Sus304, Sus316, Stainless Steel 304
- Function* : Lyophilization Machine
- Feature* : PLC Control,SUS304,No Oil Content,Healthy
- Color* : Sliver Or Customized

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Proyek akhir ini membahas mengenai masalah tentang proses pengeringan suatu bahan yang menggunakan metode pembekuan dan juga sublimasi yang diharapkan dapat mempertahankan kandungan gizi didalamnya. Berikut adalah flow-chart perancangan proyek akhir ini :





Gambar 3. 1 Diagram Alir

3.2 Uraian Pengerjaan

3.2.1 Studi Literatur dan Observasi

Studi literatur adalah kegiatan mengumpulkan jurnal, makalah, penelitian yang berkaitan dengan proses pengeringan beku. Studi literatur berfungsi untuk mendapatkan referensi, data yang digunakan sebagai acuan untuk penelitian yang akan dilakukan. Hal-hal yang dilakukan ketika Studi Literatur adalah :

1. Studi mengenai jurnal/tesis tentang sistem pengeringan beku.
2. Studi mengenai produk pengeringan beku berupa cabai.
3. Identifikasi komponen/perangkat pembangun sistem.
4. Pendalam teori mengenai pendinginan, heat exchanger sebagai teori dasar dalam penelitian ini.

Studi Literatur ini sangat diperlukan untuk mendapatkan informasi kepada penulis mengenai cara kerja sistem dan peluang improvement yang bisa dilakukan. Selanjutnya adalah observasi, observasi adalah kegiatan mencari data atau sumber daya yang akan dibahas atau yang akan diteliti sesuai dengan kondisi di lapangan, dalam hal ini adalah mitra yang bekerja sama dengan penulis. Output dari Observasi diantaranya adalah :

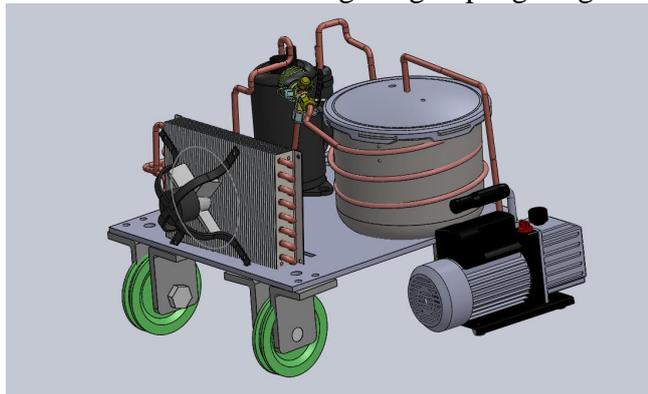
1. Data bahan yang akan dikeringkan, seperti temperature pembekuan, beban pendinginan yang akan di terima, dll.

2. Skema sistem pendingin yang bisa dimodifikasi sesuai kebutuhan.

3.2.2 Desain, Pemilihan Komponen dan Manufaktur Alat

a. Desain Konstruksi Alat

Untuk mewujudkan rancang bangun mesin pengering beku ini, tentunya membutuhkan desain konstruksi alat. Desain konstruksi alat ini diperlukan agar didalam proses manufaktur alat tersebut, sesuai dengan rencana alat yang telah dilakukan. Didalam pelaksanaan desain konstruksi alat, desain dibuat dengan menggunakan software CAD (Computer Aided Drawing). Kapasitas yang dirancang adalah 8 liter dengan ukuran tabung 28 x 22 x 16 cm. Berikut ini merupakan desain konstruksi alat rancang bangun pengering beku :



Gambar 3. 2 Desain Alat Pengering Beku

b. Pemilihan Komponen

Didalam proses rancang bangun pengering beku, diperlukan komponen-komponen yang sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Komponen-komponen yang dipilih tentunya disesuaikan dengan kebutuhan untuk proses rancang bangun pengeringan beku ini. Dalam desain tersebut terdapat beberapa komponen penunjang, yaitu diantaranya :

1. Tabung Vakum

Komponen ini digunakan sebagai wadah produk yang dikeringkan, tempat evaporator, elemen pemanas, dan thermostat. Material yang akan digunakan adalah material yang dipilih dari jenis material logam dikarenakan material ini nantinya harus mendukung proses pendinginan dan juga vakum. Tabung vakum yang dipilih adalah tabung yang dapat menghantarkan kalor dengan baik dan tidak mengalami kebocoran. Kerapatan dari tabung tersebut adalah faktor utama yang sangat diperhatikan dalam rancang bangun pengering beku ini. Untuk kapasitas tabung vakum sendiri menggunakan kapasitas 8 liter.



Gambar 3. 3 Tabung Vakum

(<https://shopee.co.id/search?category=11043778&keyword=panci%20presto%20liter&subcategory=11043895>)

2. Heater

Pada perancangan Pengering Beku ini maka dipilih heater jenis air heater dengan metode pemanasan secara radiasi dengan daya berkisar 100 W. Material dari Heater tersebut terbuat dari PTC thermistor. Temperature yang dapat dicapai oleh heater tersebut adalah 150°C.



Gambar 3. 4 Heater

(<https://www.lazada.co.id/products/water-heaterpemanas-air-celup-1000w-jiamei-i3775414312.html>)

3. Kompresor

Kompresor yang digunakan dalam sistem ini adalah kompresor hermatik(sealed). Jenis kompresor ini menempatkan motor penggerak dan kompresor dalam satu ruangan dan dibuat sedemikian rupa sehingga tidak memungkinkan 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 electric refrigerant sehingga adanya kebakaran akibat kontak listrik dapat dihindari. Kompresor hermatik memiliki kerapatan yang tinggi sehingga memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval temperature yang

rendah namun efisiensinya lebih rendah dibandingkan dengan open compressor dikarenakan Sebagian aliran refrigerant digunakan untuk mendinginkan kompresor.



Gambar 3. 5 Kompresor 1 PK
(<https://polarin.co.id/product/kompresor-ac-1-pk-panasonic-seri-2ps/>)

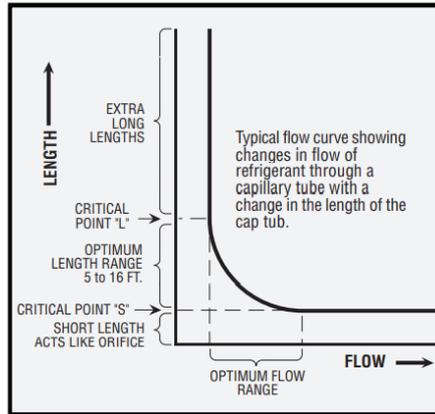
4. Expansion Valve

Merupakan salah satu bagian utama system refrigerasi yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dari kondensor untuk disesuaikan dengan tekanan evaporator serta mengatur aliran refrigerant dari cairan bertekanan tinggi menuju ke evaporator untuk disesuaikan dengan laju penguapan dalam evaporator.



Gambar 3. 6 Pipa Kapiler
(<https://indonesian.alibaba.com/product-detail/original-expansion-valve-bus-expansion-valve-1714511891.html>)

Setelah melakukan seminar proposal, ada beberapa revisi yaitu mencari acuan tentang Panjang dan diameter expansion device yang akan digunakan, berikut adalah grafik hubungan antara Panjang expansion device dan aliran didalamnya.



Gambar 3. 7 Ketentuan Expansion Device

(<https://indonesian.alibaba.com/product-detail/original-expansion-valve-bus-expansion-valve-1714511891.html>)

Dari Grafik tersebut, bisa dilihat apabila ingin mencapai temperature yang rendah maka tekanan juga harus rendah, sehingga membutuhkan Panjang pipa kapiler yang lebih juga, untuk pedoman panjangnya bisa menggunakan table berikut.

Tabel 3. 1 Panduan Panjang Expansion Device

Part No.	TC-26	TC-31	TC-36	TC-42	TC-44	TC-49	TC-50	TC-54	TC-55	TC-59	TC-64	TC-70	TC-75	TC-80	TC-85	TC-90	TC-100
Tube I.D.	.026	.031	.036	.042	.044	.049	.050	.054	.055	.059	.064	.070	.075	.080	.085	.090	.100
.024	1.44																
.025	1.20																
.026	1.00	2.24															
.028	.72	1.59															
.030	.52	1.16															
.031	.45	1.00	2.00														
.032		.86	1.75														
.033		.75	1.54														
.034		.65	1.35														
.035		.58	1.16	2.31													
.360	.50	1.00	2.10														
.037	.45	.90	1.79	2.22													
.038	.39	.80	1.59	1.92													
.039	.35	.71	1.41	1.75													
.040	.31	.62	1.25	1.55	2.51												
.041	.28	.56	1.12	1.38	2.26	2.50											
.042	.25	.50	1.00	1.24	2.03	2.23											
.043	.23	.45	.87	1.11	1.83	1.98											
.044	.20	.39	.81	1.00	1.62	1.79											
.045		.35	.73	.90	1.47	1.60	2.32										
.046		.32	.67	.82	1.34	1.47	2.08	2.27									
.047			.59	.74	1.20	1.31	1.89	2.06									
.048			.54	.67	1.10	1.20	1.72	1.87									
.049			.49	.61	1.00	1.09	1.55	1.69									
.050			.45	.56	.91	1.00	1.43	1.56	2.14								
.051			.41	.51	.84	.93	1.31	1.44	1.96								
.052				.47	.76	.85	1.19	1.32	1.78								
.053				.43	.69	.78	1.09	1.20	1.64								
.054				.39	.65	.70	1.00	1.09	1.52	2.18							
.055				.36	.59	.64	.92	1.00	1.38	2.00							
.056					.54	.60	.85	.94	1.27	1.85							
.057					.50	.55	.79	.87	1.17	1.72							
.058					.46	.51	.73	.80	1.07	1.56							
.059					.42	.47	.67	.73	1.00	1.44	2.18						
.060					.39	.43	.62	.67	.93	1.33	2.04						
.064						.32	.47	.50	.69	1.00	1.50	2.07					
.070							.30	.33	.46	.67	1.00	1.37	1.84				
.075										.48	.73	1.00	1.37	1.75			
.080											.54	.74	1.00	1.32	1.71		
.085												.57	.76	1.00	1.29		
.090												.43	.62	.76	1.00	1.62	
.095													.46	.60	.79	1.27	
.100														.48	.62	1.00	
.105															.49	.80	
.110																.65	
.115																.53	
.120																.43	

5. Pompa Vakum

Pompa vakum yang digunakan adalah pompa vakum yang dapat mencapai tekanan dibawah 1 atm sehingga bisa membuat tabung vakum

menjadi hampa udara. Pemvakuman dilakukan sesaat setelah pembekuan dilakukan.



Gambar 3. 8 Pompa Vakum
(<https://id.aliexpress.com/item/32846773979.html>)

6. Kondensor

Kondenser yang digunakan pada sistem ini adalah kondenser yang menggunakan pendingin paksa. Dalam hal ini perpindahan panas terjadi antara komponen dengan udara sekitar. Terdapat 2 jenis pendingin yaitu konveksi alami dan konveksi paksa dimana pada konveksi alami proses perpindahan panas terjadi disebabkan adanya gaya buoyancy akibat perbedaan temperature 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 3. 9 Kondesor
(<https://wuling.id/id/blog/autotips/fungsi-kondensor-mobil-dan-cegah-kerusakannya/>)

7. Evaporator

Evaporator disini menggunakan pipa tembaga dengan diameter 19mm dimana pipa tersebut akan dililitkan di tabung vakum sehingga dapat menyerap panas didalam tabung.



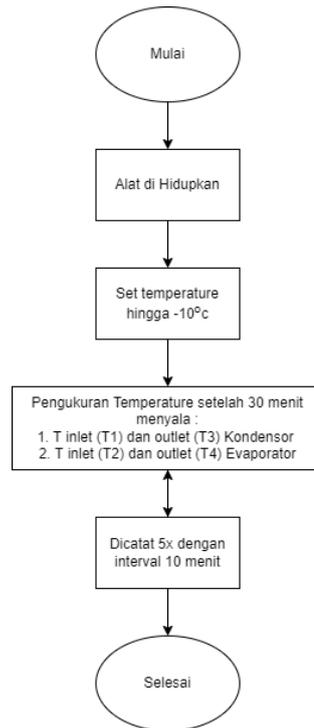
Gambar 3. 10 Evaporator tipe helical coil
(<https://shopee.co.id/Pipa-Tembaga-3-4-inch-x-0.71mm-Panjang-15-meter-i.143253872.2217525437>)

3.2.3 Uji Coba Sistem Pendinginan

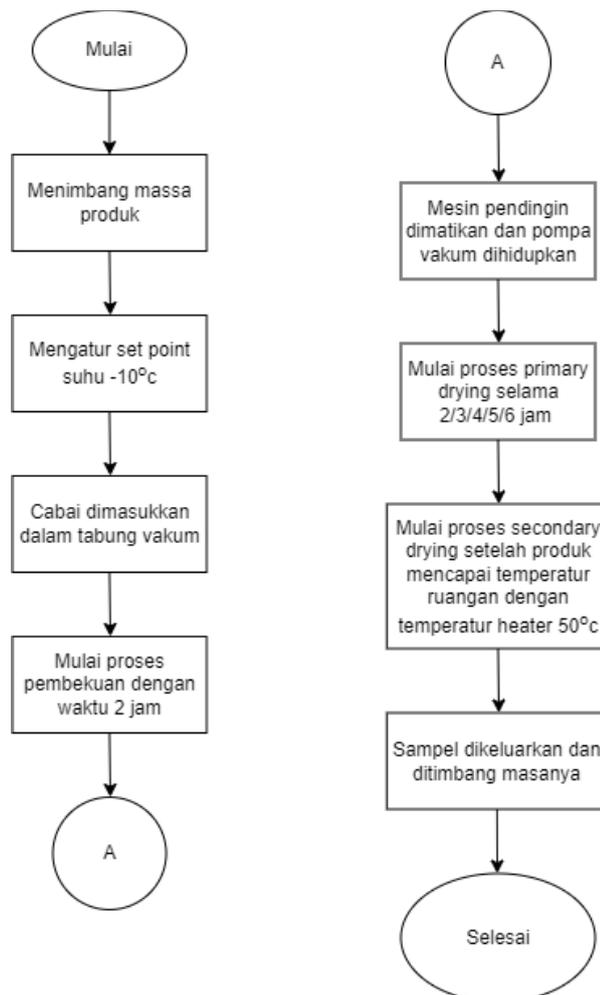
Uji coba dilaksanakan untuk mengetahui apakah alat berhasil sesuai dengan perencanaan dengan cara meninjau parameter keberhasilan alat yang telah ditentukan yaitu :

1. Sistem mampu mencapai temperatur -10°C .
2. Sistem mampu mencapai tekanan dibawah 1 atm
3. Sistem mampu mencapai temperatur beku selama 60 menit.
4. Tidak ada kebocoran dalam sistem.

Berikut adalah diagram alir dari pengujian sistem pendingin :



Gambar 3. 11 Diagram alir Uji Kinerja Mesin Pendingin



Gambar 3. 12 Diagram alir Uji Pengering Beku

a. Desain Eksperimen Uji Kadar Air

Dalam proses pengujian ini terdapat desain eksperimen, desain eksperimen dibutuhkan apabila peneliti ingin mengetahui pengaruh sebab akibat antara variable independent dan variable dependen. Dalam penelitian ini ditentukan :

Variable Tetap : Massa dan kadar air produk, laju pengeringan produk

Variable Bebas : Waktu Pengeringan 2, 3, 4, 5 dan 6 jam.

Variable control : Temperatur pemanasan 50°C

Tabel 3. 2 Tabel Desain Eksperimen

	Iterasi	BB1	BB2	BB3	BB4
AA1	1	AA1,B1(1)	AA1,B2(1)	AA1,B3(1)	AA1,B4(1)
	2	AA1,B1(2)	AA1,B1(2)	AA1,B3(2)	AA1,B4(2)
AA2	1	AA2,B1(1)	AA2,B2(1)	AA2,B3(1)	AA2,B4(1)
	2	AA2,B1(2)	AA2,B2(2)	AA2,B3(2)	AA2,B4(2)

Untuk menunjang eksperimen ini maka digunakanlah metode eksperimen factorial 2x4 dengan variasi sesuai variable diatas.

b. 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.

- Alat dihidupkan dengan menekan tombol MAIN POWER.
- Set point temperatur pada THERMOSTAT untuk diatur set point -18oC.
- Tunggu hingga 30 menit dimulai sejak mesin dinyalakan.
- Catat temperatur inlet kondenser, temperature outlet kondensor, tekanan inlet kondenser, tekanan outlet kondenser, temperature inlet dan outlet evaporator dan tekanan inlet dan outlet evaporator setiap interval 10 menit.

- Pencatatan dilakukan sebanyak 6 kali.

Tabel 3. 3 Tabel Desain Eksperimen

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

3.2.4 Analisis Data

Pada Langkah ini, akan dibuat sebuah kesimpulan yang didapatkan pada proses uji coba alat yang berhasil sesuai dengan parameter keberhasilan alat. Selain itu juga akan dibahas juga hasil dari desain eksperimen baik eksperimen uji kadar air dan eksperimen unjuk kerja mesin pendingin.

a. Tabel Hasil Eksperimen Uji Kadar Air

Tabel 3. 3 Tabel Desain Uji Kinerja Mesin Pendingin

Massa (gr)	Waktu (Jam)	Massa Sesudah Pengujian (g)	Massa Air yang Hilang (g)	Kadar Air Yang Hilang (%)
25	2			
	4			
	6			
	8			

b. 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 Aktual, COP Carnot, dan Efisiensi Refrigerasi dan kemudian dicatat di table berikut.

Tabel 3. 4 Tabel Desain Eksperimen

Waktu (Menit)	Inlet Evaporator (oC)	Efek Refrigerasi (kJ/kg)	Kerja Kompresor (kJ/kg)	COP Aktual	COP Carnot	Efisiensi Refigerasi
10						
20						
30						
40						
50						
60						

3.3 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

Jadwal dibawah ini dilakukan agar pembuatan proyek akhir terstruktur dan terlaksana dengan baik .

Tabel 3. 4 Jadwal Kegiatan Proyek Akhir

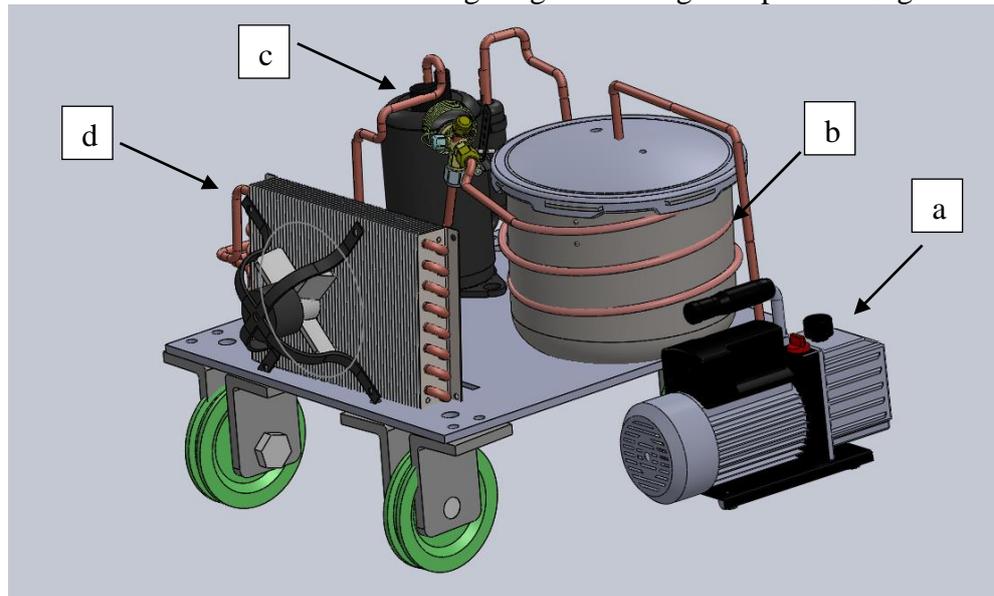
No	Rangkaian Kegiatan	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Identifikasi Masalah	■	■	■	■																												
2	Studi Literatur					■	■	■	■	■	■	■	■																				
3	Desain Konstruksi Alat									■	■	■	■	■	■	■	■																
4	Pemilihan Komponen													■	■	■	■	■	■	■	■												
5	Pembangunan Alat																	■	■	■	■	■	■	■	■								
6	Uji Coba Sistem																					■	■	■	■	■	■	■	■				
7	Uji Kinerja Mesin, Uji Kadar Air																					■	■	■	■	■	■	■	■				
8	Pengambilan Data																					■	■	■	■	■	■	■	■				
9	Analisa Hasil																					■	■	■	■	■	■	■	■				
10	Penyusunan dan Penulisan Laporan Proyek Akhir																					■	■	■	■	■	■	■	■				

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain, Pemilihan Komponen dan Assembly Alat

4.1.1 Desain Konstruksi Alat

Berikut adalah hasil desain Mesin Pengering Beku dengan kapasitas 25 gram :



Gambar 4. 1 Desain Mesin Pengering Beku

(a. pompa vakum, b. evaporator, c. kompresor, d. kondensor)

Dengan desain tersebut didapatkan dimensi alat yaitu 1,5 m x 1,5 m, dimana didalamnya terdapat beberapa komponen seperti kondensor, evaporator, kompresor dan expansion device sesuai dengan teori mesin refrigerasi yang dijelaskan dalam buku karangan C P Arora(Wardhani et al., 2021).

4.1.2 Pemilihan Komponen dan Assembly

Dalam Perancangan Mesin Pengering Beku ini, berikut adalah pemilihan komponen- komponen didalamnya :

a. Tabung Vakum

Komponen ini digunakan sebagai wadah produk yang dikeringkan, tempat evaporator, elemen pemanas, dan thermostat. Material yang akan digunakan adalah material yang dipilih dari jenis material logam dikarenakan material ini nantinya harus mendukung proses pendinginan dan juga vakum. Tabung vakum yang dipilih adalah tabung yang dapat menghantarkan kalor dengan baik dan tidak mengalami kebocoran. Kerapatan dari tabung tersebut adalah faktor utama yang sangat diperhatikan dalam rancang bangun pengering beku ini. Untuk kapasitas tabung vakum pada penelitian ini menggunakan kapasitas 8 liter sesuai Gambar 4.2 . Panci presto 8 liter dipilih karena tersedia di pasaran dan dapat menahan tekanan vakum hingga 0,001 bar serta dapat menjaga temperature ruang sebesar - 10°C.



Gambar 4. 2 Tabung Vakum

b. Heater

Pada perancangan Pengering Beku ini maka dipilih heater jenis air heater dengan metode pemanasan secara radiasi dengan daya berkisar 1500 W. Material dari Heater tersebut terbuat dari PTC thermistor. Temperature yang dapat dicapai oleh heater tersebut adalah 150°C. Sesuai Gambar 4.3, dengan menggunakan heater tersebut dapat menghangatkan ruang vakum dengan cepat, penghangatan berkisar antara 40-50 °C. Temperature ini sesuai dengan kebutuhan penghangatan pada mesin pengering beku dimana heater digunakan sebagai alat pembantu primary dan secondary drying.



Gambar 4. 3 Heater

c. Kompresor

Kompresor yang digunakan dalam sistem ini adalah kompresor hermatik(sealed) dengan daya 1 hp sesuai dengan gambar 4.4. Jenis kompresor ini menempatkan motor penggerak dan kompresor dalam satu ruangan dan dibuat sedemikian rupa. Kompresor hermatik ini digunakan karena memiliki kerapatan yang tinggi sehingga memiliki kelebihan dapat digunakan dengan baik pada interval temperature yang rendah. Dengan menggunakan kompresor ini dapat mencapai tekanan hingga 100 psi untuk refrigerant 134a.



Gambar 4. 4 Kompresor yang digunakan

d. Expansion Device

Merupakan salah satu bagian utama system refrigerasi yang berfungsi untuk mengurangi tekanan dari kondensor untuk disesuaikan dengan tekanan evaporator serta mengatur aliran refrigerant dari cairan bertekanan tinggi menuju ke evaporator untuk disesuaikan dengan laju penguapan dalam evaporator. Pada penelitian ini menggunakan diameter 0,42 inch dan panjang 2 meter. Spesifikasi tersebut sesuai dengan kebutuhan untuk mencapai temperatur -10°C



Gambar 4. 5 Expansion Device yang Digunakan

e. Pompa Vakum

Pompa vakum yang digunakan adalah pompa vakum yang dapat mencapai tekanan dibawah 1 atm sehingga bisa membuat tabung vakum menjadi hampa udara. Pevakuman dilakukan sesaat setelah pembekuan dilakukan. Pompa vakum yang digunakan adalah jenis pompa vakum dual stage ini dikarenakan pompa tersebut mampu memvakum ruangan hingga 0,001 bar sesuai kebutuhan.



Gambar 4. 6 Pompa Vakum yang Digunakan

f. Kondensor

Kondenser yang digunakan pada sistem ini adalah kondenser yang menggunakan konveksi paksa. Dalam hal ini perpindahan panas terjadi antara komponen dengan udara sekitar. Terdapat 2 jenis pendingin yaitu konveksi alami dan konveksi paksa dimana pada konveksi alami proses perpindahan panas terjadi disebabkan adanya gaya buoyancy akibat perbedaan temperature 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. Dalam sistem ini menggunakan kondensor dengan konveksi paksa dimana ada kipas yang menyedot panas kondensor.



Gambar 4. 7 Kondenser yang Digunakan

g. Evaporator

Evaporator disini menggunakan pipa tembaga dengan diameter $\frac{1}{4}$ inch dimana pipa tersebut akan dililitkan di tabung vakum sehingga dapat menyerap panas didalam tabung. Evaporator yang kami gunakan adalah hasil revisi dari desain sebelumnya dimana desain sebelumnya tidak mencapai target sehingga kami tambah lilitan evaporatornya sehingga dapat mencapai temperature -10°C .



Gambar 4. 8 Evaporator yang Digunakan

Setelah pemilihan komponen maka kegiatan dilanjutkan dengan assembly alat sesuai dengan desain yang sudah direncanakan. Berikut adalah hasil assembly alat yang penulis lakukan :



Gambar 4. 9 Gambar Mesin setelah dirangkai

4.2 Data Kinerja Mesin Pendingin

Berikut adalah tabel data kinerja mesin pendingin yang penulis dapat :

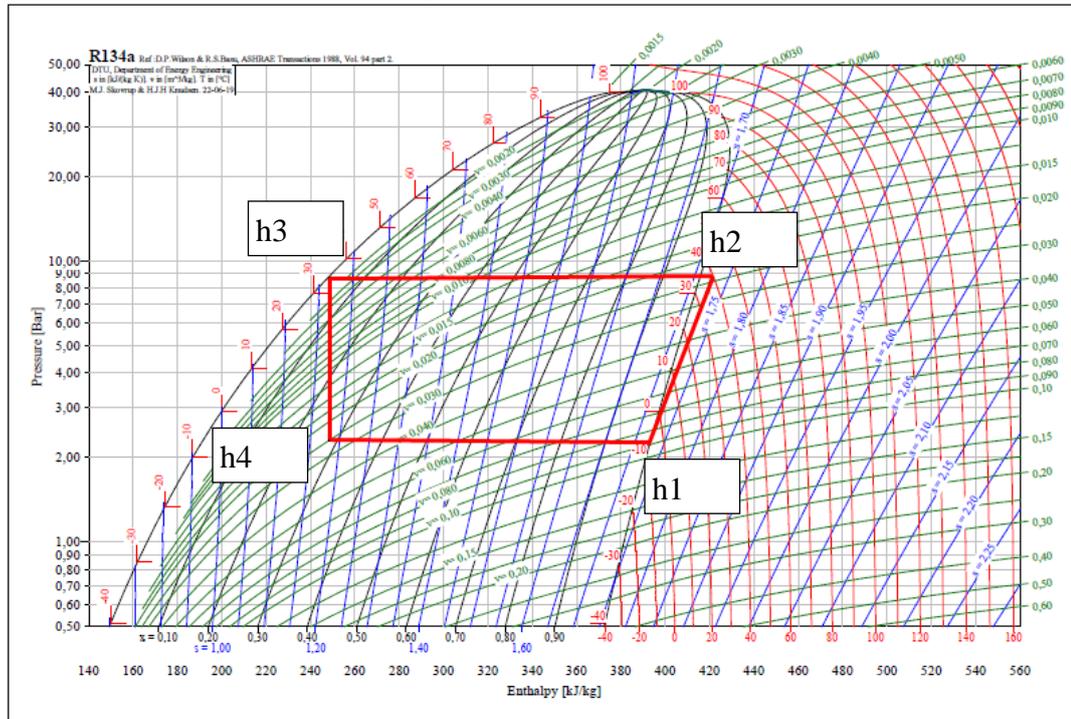
Tabel 4. 1 Tabel Hasil Kinerja Mesin Pendingin

Pengujian Kinerja Mesin Pendingin									
No	Interval Waktu	Kondensor				Evaporator			
		T inlet (c)	P inlet (psi)	T outlet (c)	P Outlet (psi)	T inlet (c)	P inlet (bar)	T outlet (c)	P outlet (bar)
1	30 menit	34,2	100,000	28.6	100,000	-2,2	10	-1	5
2	40 menit	34,3	100,000	28.9	100,000	-8	11	-4,5	5
3	50 menit	34,8	100,000	29	100,000	-7,3	10	-1,1	5

4	60 menit	34,3	100,000	28,8	100,000	-6,5	10	-3,5	5
5	70 menit	34,8	100,000	28,6	100,000	-9	10	-5,8	5

Dari data diatas dapat dilakukan analisa kinerja mesin pendingin dengan berikut adalah analisaya :

4.2.1 Kinerja Mesin Pendingin



Gambar 4. 10 Grafik siklus R134a di Coolpack

Dari data uji kinerja system pendingin diatas, kemudian disimulasikan dengan aplikasi coolpack dengan cara memasukkan temperature evaporator dan temperature kondensor kemudian Digambar, setelah itu didapatkan grafik diatas sehingga dapat menentukan enthalpy dan volume specific dari siklus ini.

Berdasarkan gambar 4.10 didapatkan beberapa nilai enthalpy dan volume spesifik sebagai berikut :

$$h1 = 393,341 \text{ kJ/kg} \quad h3 = 420,998 \text{ kJ/kg} \quad v1 = 0,0872 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h2 = 420,998 \text{ kJ/kg} \quad h4 = 247,986 \text{ kJ/kg}$$

Daya kompresor/ $W = 819$ watt (berdasarkan spesifikasi teknis kompresor)

Berdasarkan informasi diatas dapat dicari laju aliran massa sesuai persamaan (2.3), sebagai berikut

1. Laju Aliran Massa)

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_c}{h_2 - h_1} = \frac{819 \times 10^{-3} \text{ kW}}{420,998 - 393,341} = 0,0296 \text{ kg/s}$$

Setelah didapatkan laju aliran massa dapat dicari laju aliran volume sesuai persamaan (2.4)

2. Laju Aliran Volume

$$\dot{v} = \dot{m} \times v_1 = 0,0296 \text{ kg/s} \times 0,0872 \text{ m}^3/\text{kg} = 0,00258 \text{ m}^3/\text{s} = 155,102 \text{ l/min}$$

Setelah didapatkan laju aliran volume dapat dicari efek refrigerasi sesuai persamaan (2.4)

3. Efek Refrigerasi

$$q_o = h_1 - h_4 = 393,341 \text{ kJ/kg} - 247,986 \text{ kJ/kg} = 143,355 \text{ kJ/kg}$$

Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator untuk setiap satuan massa refrigeran (Agustina dkk, 2016). Efek refrigerasi dipengaruhi oleh temperatur inlet evaporator dimana semakin tinggi temperatur inlet evaporator, semakin besar efek refrigerasi yang dihasilkan. Setelah didapatkan efek refrigerasi dapat dicari efek kapasitas refrigerasi sesuai persamaan (2.5)

4. Kapasitas Refrigerasi

$$Q_o = q_o \times \dot{m} = 143,355 \text{ kJ/kg} \times 0,0296 \text{ kg/s} = 4,302 \text{ kJ/s} = 4,302 \text{ kW}$$

Setelah didapatkan efek refrigerasi maka dilanjutkan dengan menghitung kapasitas refrigerasi dengan mengalikan efek refrigerasi dengan laju aliran massa sesuai persamaan (2.6)

5. Kalor yang Dilepas Kondensor

Pada saat refrigeran melewati kondenser, terjadi perpindahan kalor dari refrigeran ke lingkungan yang lebih dingin sehingga menghasilkan pengembunan refrigeran. Laju aliran kalor pada proses kondensasi ini dinyatakan pada persamaan (Moran dan Shapiro, 2004).

$$\begin{aligned} Q_c &= \dot{m} \times (h_3 - h_4) \\ &= 0,0296 \text{ kg/s} (420,998 \text{ kJ/kg} - 247,986 \text{ kJ/kg}) \\ &= 5,121 \text{ kJ/s} = 5,121 \text{ kW} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan kapasitas refrigerasi dilanjutkan dengan menghitung kalor yang dilepas sesuai dengan persamaan (2.7)

6. Nilai Coefficient of Performance

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 (ASHRAE, 2001).

$$COP_{ref} = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{W}} = \frac{143,355}{27,657} = 5,183$$

COP ini dianggap sebagai nilai actual dari system yang ada, selanjutnya bisa digunakan untuk menghitung efisiensi dari mesin tersebut.

7. Nilai COP Carnot Ideal

Terdapat 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 (Jones, 2001):

$$\begin{aligned} COP_{carnot} &= \frac{T_e}{T_c - T_e} \\ &= \frac{266,55}{307,63 - 266,55} \\ &= 6,488 \end{aligned}$$

8. Efisiensi Refrigerasi

$$\begin{aligned} \eta_{ref} &= \frac{COP_{ref}}{COP_{carnot}} \times 100 \\ &= \frac{5,183}{6,488} \times 100\% \end{aligned}$$

$$= 79,8\%$$

Dapatkan nilai efisiensi refrigerasi sebesar 79,8%. Dengan demikian mesin pendingin ini mampu bekerja efisien dengan input energi yang digunakan. Hasil ini lebih bagus daripada mesin pendingin yang dibuat Fadarina, dkk(2020) yang menghasilkan efisiensi sebesar 55,71%.

4.3 Hasil Uji Kadar Air Pengereng Beku dengan Pembekuan -8 °C, Pemanasan 50°C dengan Variasi Waktu

Dalam uji coba rancang bangun pengereng beku untuk pengereng cabai dengan variasi waktu ini dilaksanakan 4x percobaan dengan keseluruhan percobaan dilakukan pada malam hari untuk menyesuaikan temperatur lingkungan, berikut adalah hasilnya :

4.3.1 Pembekuan dengan Temperatur -8°C

a. Pembekuan dengan Temperatur -8°C Dengan Penghangatan Selama 2 Jam

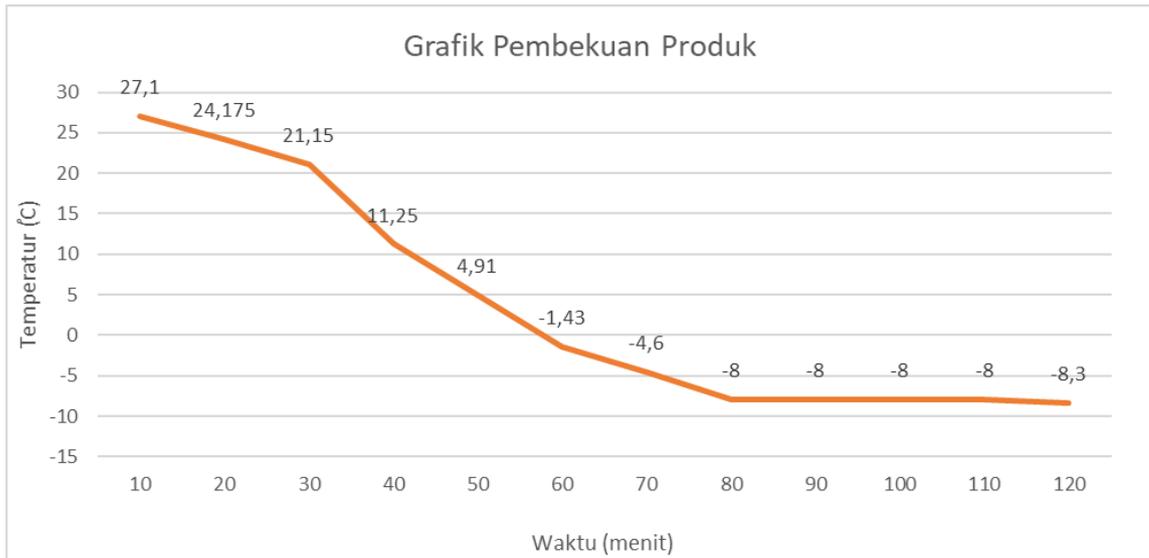
Pada percobaan yang pertama ini, produk dibekukan pada temperatur -8 °C selama 2 jam, kemudian dihangatkan dengan temperature 50°C selama 2 jam. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 2 Tabel Setting Awal Pengujian dengan Variasi 2 jam Pengereng

No	Massa Produk Awal (gr)	T Produk Awal (C)	T Pembekuan Produk (C)	T Ruang Pembeku (C)	Waktu Pembekuan
1	25 gr	27,1	-8	-12	2 jam

Tabel 4. 3 Data Penurunan Temperatur Produk

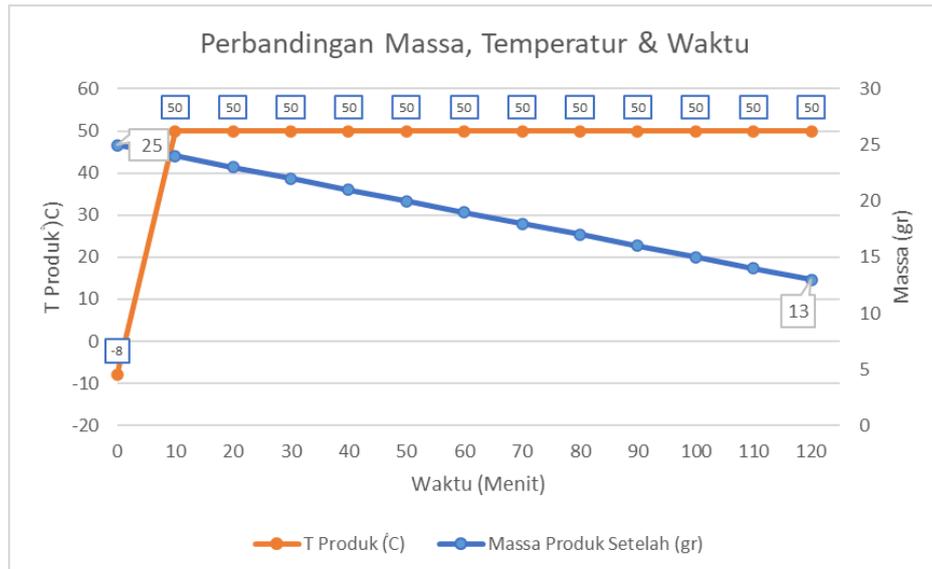
No	Massa (gr)	T Produk (C)	T Ruang (C)	Waktu (Menit)
1	25	27,1	-12	10
2	25	24,175	-12	20
3	25	21,15	-12	30
4	25	11,25	-12	40
5	25	4,91	-12	50
6	25	-1,43	-12	60
7	25	-4,6	-12	70
8	25	-8	-12	80
9	25	-8	-12	90
10	25	-8	-12	100
11	25	-8	-12	110
12	25	-8,3	-12	120



Gambar 4. 11 Grafik Pembekuan

Tabel 4. 4 Data Penurunan Massa Selama 2 jam

Data Pengeringan Primer					
No	P Vakum (bar)	T Produk	T Ruang Vakum	Interval	Massa Produk setelah
1	0,001	-8	50	0	25
2	0,001	50	50	10	
3	0,001	50	50	20	
4	0,001	50	50	30	
5	0,001	50	50	40	
6	0,001	50	50	50	
7	0,001	50	50	60	
8	0,001	50	50	70	
9	0,001	50	50	80	
10	0,001	50	50	90	
11	0,001	50	50	100	
12	0,001	50	50	110	
13	0,001	50	50	120	13



Gambar 4. 12 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur Terhadap Waktu

Berdasarkan uji coba di atas, dapat disimpulkan bahwa pengeringan beku cabai yang dihangatkan pada temperatur 50 °C selama 2 jam dapat mengurangi massa cabai sebesar 12 gram atau setara dengan 48%.

b. Pembekuan dengan Temperatur -8 dan Waktu Pengeringan 4 jam

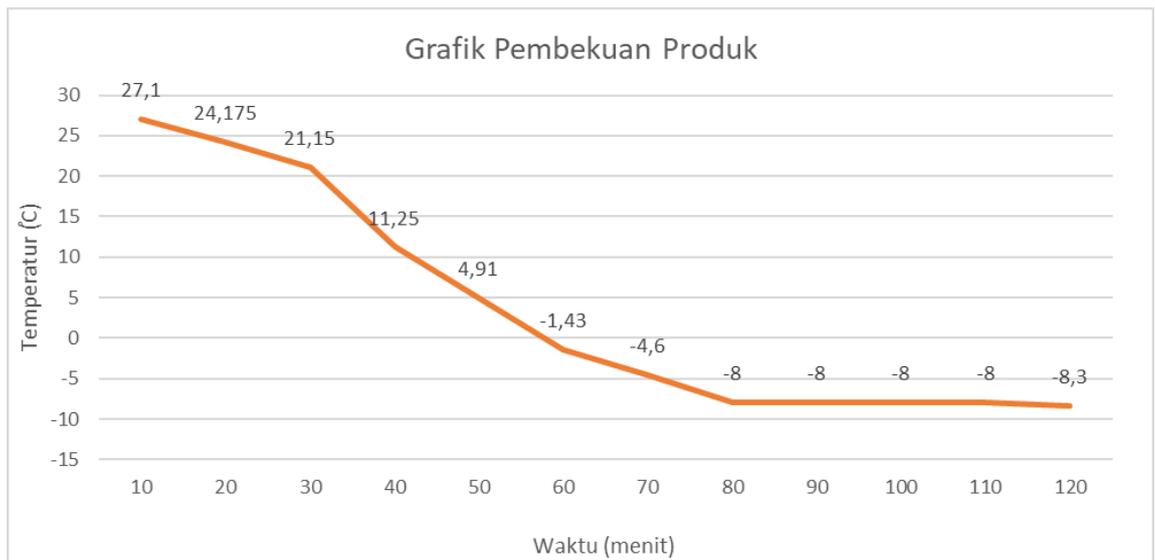
Pada percobaan yang pertama ini, produk dibekukan pada temperature -8 °C selama 2 jam, kemudian dihangatkan dengan temperature 50°C selama 4 jam. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Data Setting Awal Pengujian dengan Variasi 4 Jam

No	Massa Produk Awal (gr)	T Produk Awal (°C)	T Pembekuan Produk (°C)	T Ruang Pembeku (°C)	Waktu Pembekuan
1	25 gr	25	-8	-10	2 jam

Tabel 4. 6 Data Pembekuan

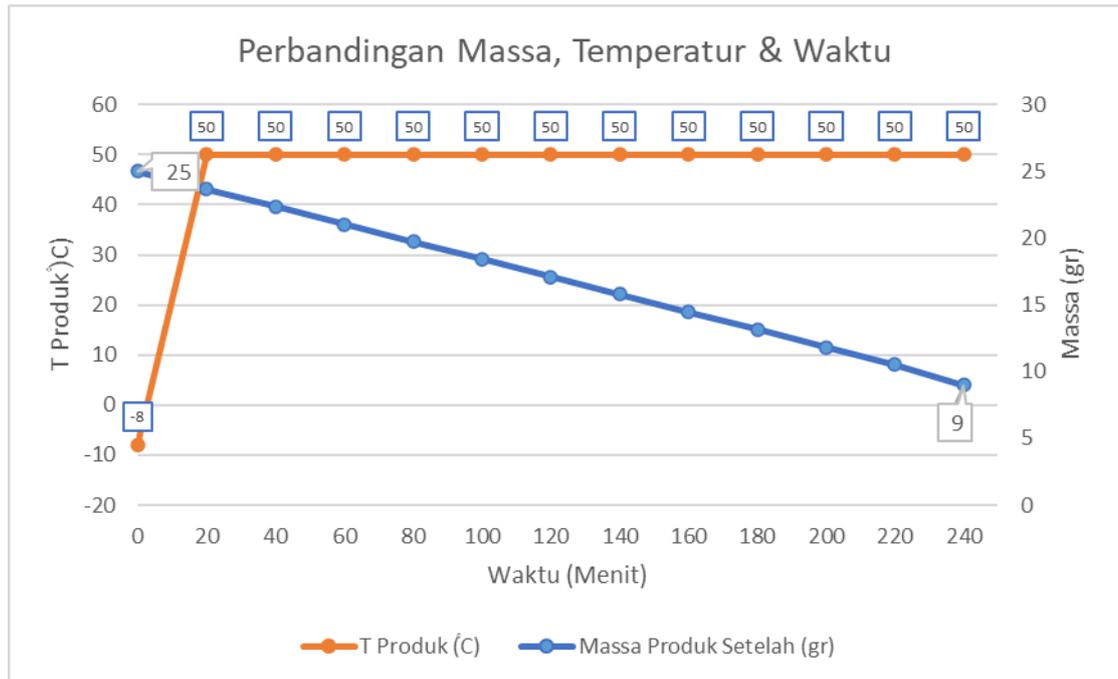
No	Massa (gr)	T Produk (°C)	T Ruang (°C)	Waktu (Menit)
1	25	27,1	-12	10
2	25	24,175	-12	20
3	25	21,15	-12	30
4	25	11,25	-12	40
5	25	4,91	-12	50
6	25	-1,43	-12	60
7	25	-4,6	-12	70
8	25	-8	-12	80
9	25	-8	-12	90
10	25	-8	-12	100
11	25	-8	-12	110
12	25	-8,3	-12	120



Gambar 4. 13 Grafik Pembekuan Produk

Tabel 4. 7 Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur selama 4 Jam

Data Pengeringan Primer					
No	P Vakum (bar)	T Produk	T Ruang Vakum	Interval	Massa Produk setelah
1	0,001	-8	50	0	25
2	0,001	50	50	20	
3	0,001	50	50	40	
4	0,001	50	50	60	
5	0,001	50	50	80	
6	0,001	50	50	100	
7	0,001	50	50	120	
8	0,001	50	50	140	
9	0,001	50	50	160	
10	0,001	50	50	180	
11	0,001	50	50	200	
12	0,001	50	50	220	
13	0,001	50	50	240	9



Gambar 4. 14 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur Produk selama 4 Jam

Berdasarkan uji coba di atas, dapat disimpulkan bahwa pengeringan beku cabai yang dihangatkan pada temperatur 50 °C selama 4 jam dapat mengurangi massa cabai sebesar 16 gram atau setara dengan 64%

c. Pembekuan dengan Temperatur -8 dan Waktu Pengeringan 6 jam

Pada percobaan yang pertama ini, produk dibekukan pada temperature -8 °C selama 2 jam, kemudian dihangatkan dengan temperature 50°C selama 6 jam. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut :

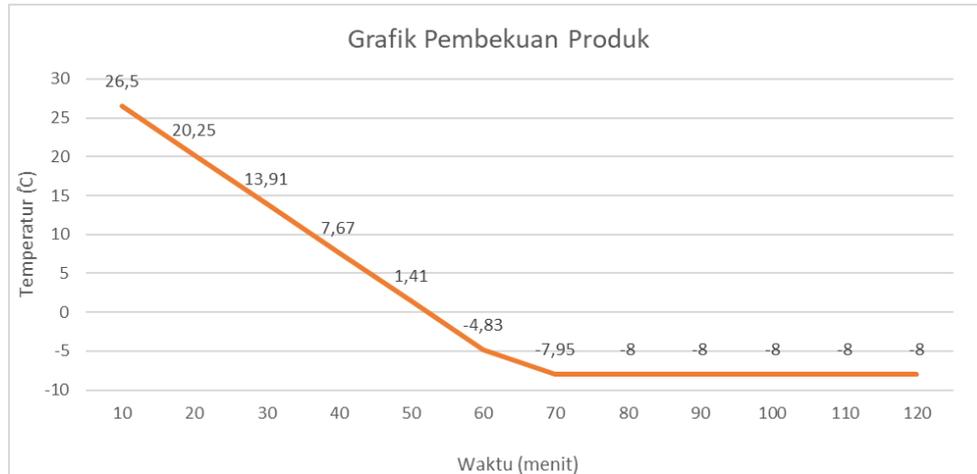
Tabel 4. 8 Setting Awal Parameter Dengan Variasi 6 jam

No	Masa Produk Awal (gr)	T Produk Awal (°C)	T Pembekuan Produk (°C)	T Ruang Pembeku (°C)	Waktu Pembekuan
1	25 gr	26,5	-8	-10	2 jam

Tabel 4. 9 Data Pembekuan

No	Masa (gr)	T Produk (°C)	T Ruang (°C)	Interval (Menit)
1	25	26,5	-10	10
2	25	20,25	-10	20
3	25	13,91	-10	30
4	25	7,67	-10	40
5	25	1,41	-10	50
6	25	-4,83	-10	60
7	25	-7,95	-10	70
8	25	-8	-10	80

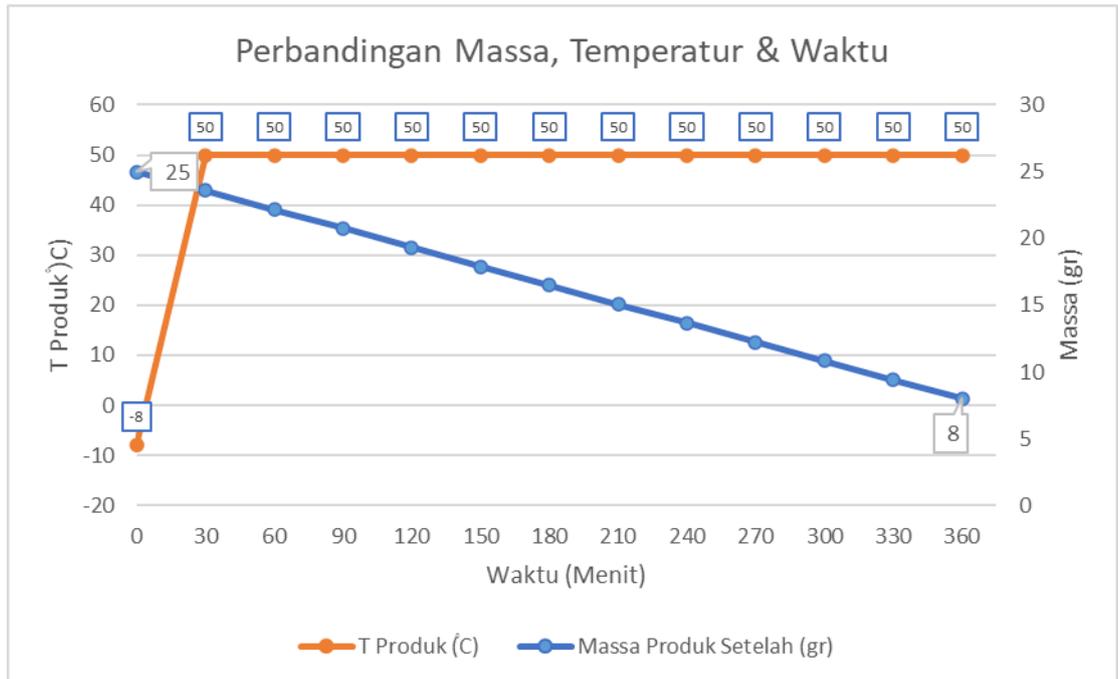
No	Massa (gr)	T Produk (°C)	T Ruang (°C)	Interval (Menit)
9	25	-8	-10	90
10	25	-8	-10	100
11	25	-8	-10	110
12	25	-8	-10	120



Gambar 4. 10 Grafik Pembekuan Produk

Tabel 4. 11 Penurunan Massa pada variasi 6 jam

Data Pengeringan Primer					
No	P Vakum (bar)	T Produk	T Ruang Vakum	Interval	Massa Produk setelah
1	0,001	50	50	0	25
2	0,001	50	50	30	
3	0,001	50	50	60	
4	0,001	50	50	90	
5	0,001	50	50	120	
6	0,001	50	50	150	
7	0,001	50	50	180	
8	0,001	50	50	210	
9	0,001	50	50	240	
10	0,001	50	50	270	
11	0,001	50	50	300	
12	0,001	50	50	330	
13	0,001	50	50	360	8



Gambar 4. 15 Grafik Penurunan Massa dan Kenaikan Temperatur pada Variasi 6 Jam

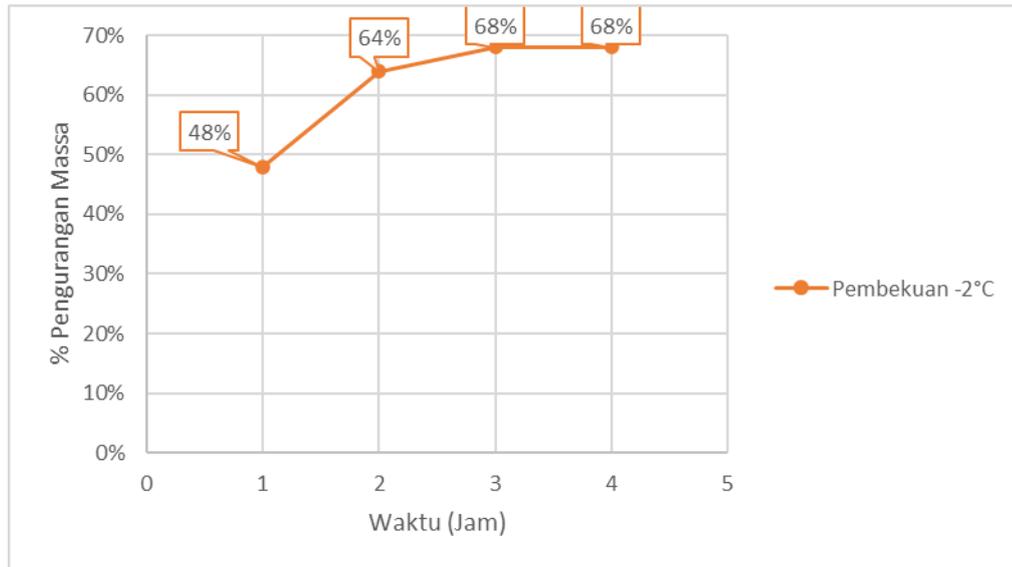
Berdasarkan uji coba di atas, dapat disimpulkan bahwa pengeringan beku cabai yang dihangatkan pada temperatur 50 °C selama 6 jam dapat mengurangi massa cabai sebesar 17 gram atau setara dengan 68%

4.4 Perbandingan Pengurangan Massa Terhadap Waktu Pengeringan Tiap Variasi

Setelah dilakukan variasi waktu pengeringan (2 jam, 4 jam, 6 jam dan 8 jam), berikut adalah perbandingan pengurangan massa.

Tabel 4. 12 Penurunan Massa di setiap Variasinya

No	T Pembekuan	Waktu (Jam)	Massa Sebelum Pengujian (gr)	Massa Sesudah Pengujian (gr)	Persentase Pengurangan Massa
1	-2	2	25	13	48%
2		4	25	9	64%
3		6	25	8	68%
4		8	25	8	68%



Gambar 4. 16 Grafik Penurunan Massa terhadap variasi waktu

Pada waktu pengeringan 2 jam menunjukkan proses pengeringan beku dapat mengurangi massa sebesar 48%, selanjutnya pada pengeringan selama 4 jam proses pengeringan beku dapat mengurangi massa sebesar 64%. Pada pengeringan 6 dan 8 jam, proses pengeringan beku memiliki kemampuan mengurangi massa sebesar 68%. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu pemanasan maka semakin besar pula pengurangan massa.

4.5 Hasil Analisa Moisture Content

$$M_c(\%) = \frac{m_{wet\ air} - m_{dry\ air}}{m_{wet\ air}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

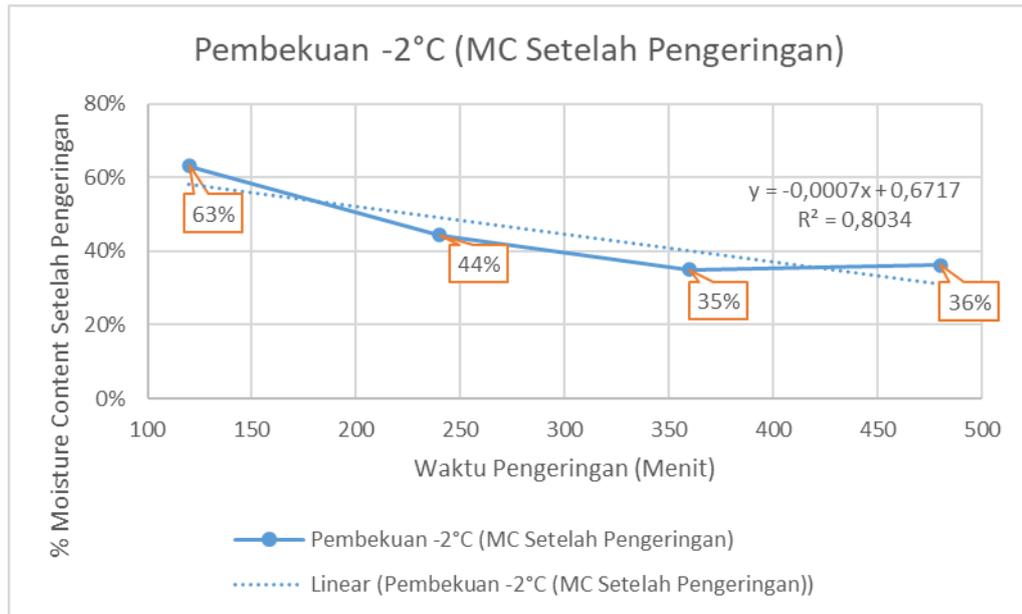
M_c = Moisture Content

m_{wet} = Massa Awal (Kg)

m_{air} = Massa Akhir (Kg)

Tabel 4. 13 Data Massa akhir dan Moisture Content

No	T Pembekuan	Waktu (Menit)	Massa Sebelum Pengujian (gr)	Massa Sesudah Pengujian (gr)	Persentase Pengurangan Massa	Massa Solid (gr)	Moisture Content Awal (M_c) (%)	Moisture Content Setelah Pengeringan (M_c)(%)
1	-2	120	25	13	48%	4,8	81%	63%
2		240	25	9	64%	5	80%	44%
3		360	25	8	68%	5,2	79%	35%
4		480	25	8	68%	5,1	80%	36%



Gambar 4. 17 Grafik Moisture Content terhadap Waktu Pengeringan

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0,7986597							
R Square	0,63785732							
Adjusted R Square	0,27571463							
Standard Error	0,04365989							
Observations	3							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	0,003357446	0,003357	1,761343	0,411085521			
Residual	1	0,001906186	0,001906					
Total	2	0,005263632						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	0,50856481	0,095985576	5,298346	0,118757	-0,711047571	1,7281772	-0,71104757	1,7281772
120	-0,00034144	0,000257268	-1,32716	0,411086	-0,00361034	0,0029275	-0,00361034	0,0029275

Gambar 4. 18 Hasil Analisa SSE dan R² data di Excel

Setelah dilakukan Analisa terhadap data yang diperoleh, untuk pengeringan dengan pengering beku, didapatkan nilai R² untuk regresi adalah 0,8034 dan R² aktual adalah 0,637. Kedua nilai tersebut mendekati angka 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa lama waktu pengeringan beku berpengaruh signifikan pada kadar *moisture content* cabai.

4.6 Hasil Analisa Drying Rate

Laju pengeringan didefinisikan sebagai banyaknya kadar air yang dilepaskan oleh produk pengeringan dalam jangka waktu tertentu. Laju pengeringan dapat dirumuskan sebagai berikut.

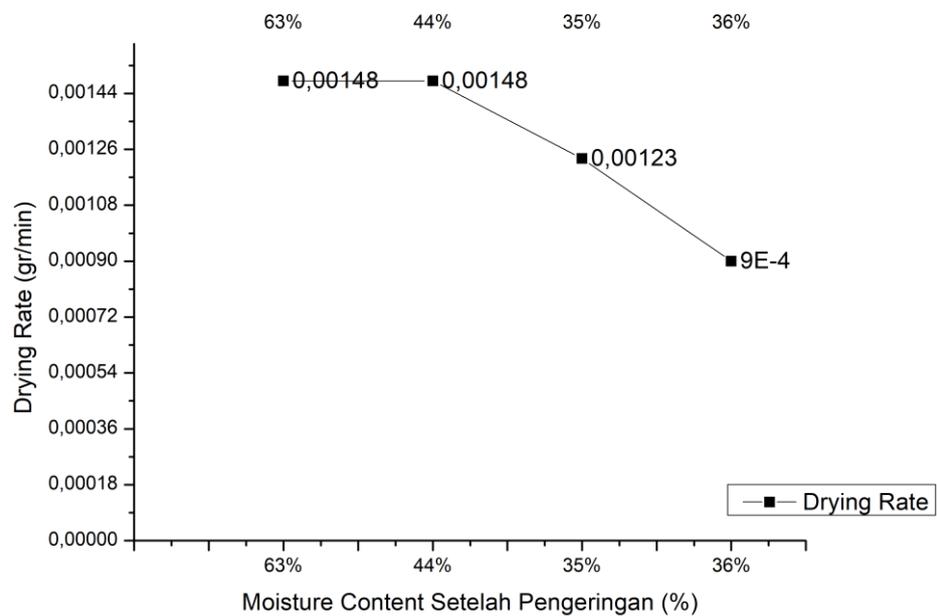
$$DR = \frac{\Delta M_c}{\Delta t} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

- DR = Laju pengeringan
 ΔM_c = Perubahan Moisture Content
 Δt = Perubahan Waktu

Tabel 4. 14 Data Drying Rate

No	T Pembekuan	Waktu (Menit)	Moisture Content Awal (%)	Moisture Content Setelah Pengeringan(%)	Drying Rate
1	-2	120	81%	63%	0,00148
2	-2	240	80%	44%	0,00148
3	-2	360	79%	35%	0,00123
4	-2	480	80%	36%	0,0009



Gambar 4. 19 Grafik drying Rate terhadap Moisture Content pada temperature pembekuan - 2

Dari grafik diatas dapat dilihat pada pembekuan cabai -2 dan penghangatan mencapai 50 memiliki *drying rate* rata-rata yaitu 0,00131% gr/min.

4.7 Efisiensi 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 diekspersikan menjadi (Setyadi et al., 2021).

$$= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\%$$

4.7.1 Energi Input (Q_{in})

Untuk menghitung nilai konsumsi besar energi listrik dapat menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{in} = Q_{listrik} \times t$$

Q_{in} = Energi listrik yang digunakan (kJ)

Q_{listrik} = Konsumsi energi listrik (kW)

t = Lama waktu pemakaian energi (second)

Tabel 4. 15 Energi Input

No	Waktu (s)	Energi Input (kJ)
1	7200	6912
2	14400	10404
3	21600	13896
4	28800	17388

4.7.2 Energi Output (Q_{out})

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

$$Q = E \times h_{lb}$$

Q = Energi untuk menguapkan air bahan (kJ)

E = Beban uap air (Kg H₂O)

h_{lb} = Panas laten (kJ/Kg) dari table termodinamika.

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

$$E = \frac{(M1 - M2)100}{(100 - M1)(100 - M2)} \times W_d$$

Keterangan:

E : Beban uap air (kg H₂O)

M1 : Kadar air awal (% bb)

M2 : Kadar air akhir (% bb)

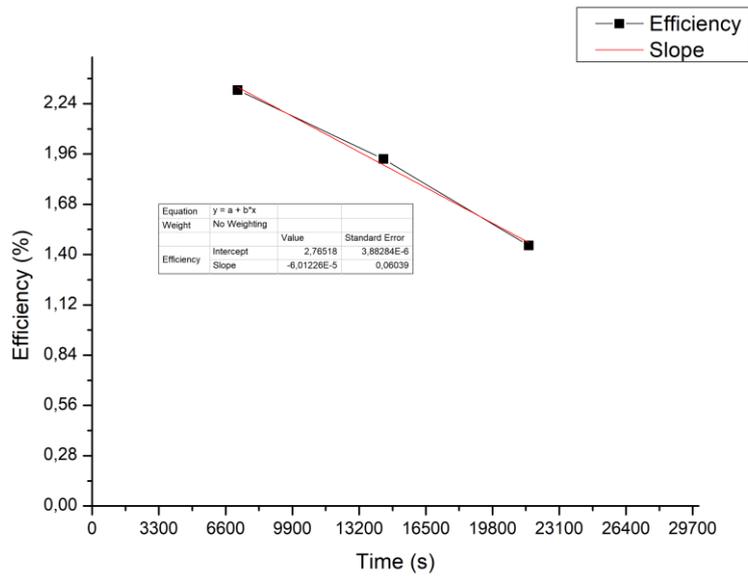
W_d : Massa bahan awal (kg)

Tabel 4. 16 Energi Output

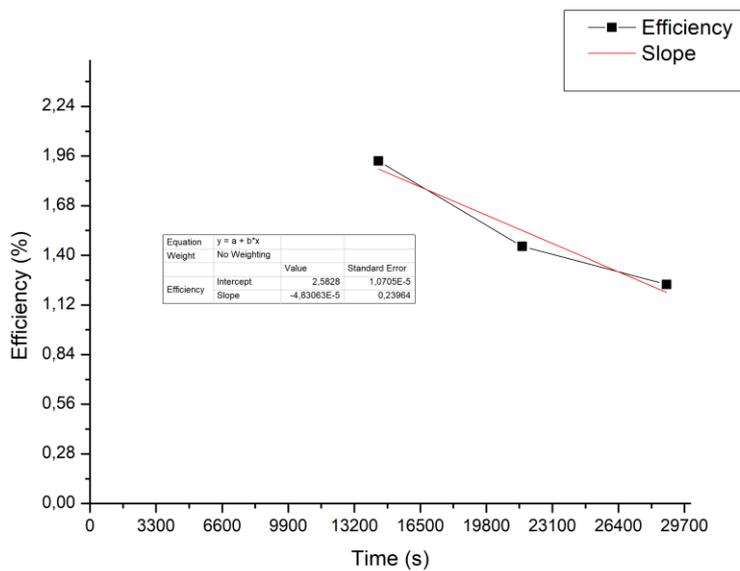
Waktu (s)	Energi Input (kJ)	Moisture Content Awal (%)	Moisture Content Setelah Pengerinan(%)	Beban Uap Air (Kg)	Energi Output (kJ)
7200	6912	81%	63%	0,064011	160,0925
14400	10404	80%	44%	0,080357	200,9732
21600	13896	79%	35%	0,080586	201,5458
28800	17388	80%	36%	0,085938	214,9297

Tabel 4. 17 Efisiensi Energi

Waktu (s)	Energi Input (kJ)	Moisture Content Awal (%)	Moisture Content Setelah Pengerinan(%)	Beban Uap Air (Kg)	Energi Output (kJ)	Efisiensi
7200	6912	81%	63%	0,064011	160,0925	2,32%
14400	10404	80%	44%	0,080357	200,9732	1,93%
21600	13896	79%	35%	0,080586	201,5458	1,45%
28800	17388	80%	36%	0,085938	214,9297	1,24%



Gambar 4. 20 Grafik Efisiensi pada interval 2-6 jam



Gambar 4. 21 grafik efisiensi pada interval 4-8 jam

Berdasarkan Gambar 4.20 dan 4.21 dapat dilihat bahwa pada grafik 4.20 di interval 2- 6 jam didapatkan nilai *slope* yaitu 6,01, sedangkan untuk untuk grafik 4.21 di interval 4-8 jam didapatkan nilai *slope* 4,83. Terdapat penurunan nilai *slope* dimana hal tersebut dapat disimpulkan bahwa grafik semakin melandai sehingga hasil efisiensinya semakin konstan. Hal ini bermakna tidak diperlukan variasi waktu tambahan untuk menahan temperatur pengeringan, dengan temperatur 50°C cukup ditahan selama 6 jam untuk menghasilkan pengurangan *moisture content* secara signifikan sebesar 50% dari kadar air awal.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian “Rancang Bangun Peninger Beku untuk Peningeran Cabai dengan Variasi Waktu dan Temperatur 50°C ” ini, maka hasil yang dapat disimpulkan adalah :

1. Didapatkan desain alat penering beku untuk peneringan cabai yang mampu mencapai temperatur -10°C dan mampu menahan hingga tekanan 0,001 bar serta mampu mengeringkan cabai hingga kadar air 50%.
2. Didapatkan efisiensi refrigerasi dari sistem pendingin pada alat penering beku untuk peneringan cabai adalah sebesar 79,8% dan didapatkan hasil efisiensi peneringan dari alat penering beku adalah 1,45% pada waktu 6 jam.
3. Didapatkan hasil laju peneringan rata-rata cabai sampai 6 jam pada alat penering beku untuk peneringan cabai dengan temperature -2 adalah sebesar 0,00131% gr/min.

5.2 Saran

Dari hasil proyek ini masih terdapat beberapa kekurangan dimungkinkan untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karenanya penulis merasa perlu untuk memberi saran sebagai berikut :

1. Ruang vakum pada alat penering beku ini masih terdapat kebocoran karena saat pompa dimatikan tekanan akan kembali kepada tekanan normal/atmosfer sehingga menyebabkan harus menyalakan pompa vakum secara terus menerus selama pengujian. Sehingga diharapkan bisa dilakukan pengembangan desain ruang vakum yang lebih rapat dan tidak ada kebocoran.
2. Sistem pembeku yang belum maksimal ini bisa dikembangkan agar dapat mencapai temperatur minus/dingin yang lebih rendah dan dengan waktu yang lebih singkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananingsih, V. K., Arsanti, G., & Nugrahedi, R. P. Y. (2017). The Impact of Pretreatment on the Quality of Turmeric Dried by Solar Tunnel Dryer. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 22(2), 79–86. <https://doi.org/10.18343/jipi.22.2.79>
- Arora, C. P. (2009). *Refrigeration and Air Conditioning Third Edition*.
- Arsiccio, A., Giorsello, P., Marengo, L., & Pisano, R. (2020). Considerations on Protein Stability During Freezing and Its Impact on the Freeze-Drying Cycle : A Design Space Approach. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 109(1), 464–475. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.10.022>
- Artiana, A., Kusumo, G. G., & Suryandari, M. (2011). *Kunyit Sebagai Indikator Alami untuk Mendeteksi Boraks pada Mie Basah*. 1–9.
- Blok, K., & Nieuwlaar, E. (2021). Exergy analysis. In *Introduction to Energy Analysis*. <https://doi.org/10.4324/9781315617213-18>
- Dincer, I., & Zamfirescu, C. (2014). Fundamentals of Thermodynamics. In *Advanced Power Generation Systems*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-383860-5.00001-8>
- Fadarina, I. P., & Fajar, R. (2020). EFISIENSI MESIN PENDINGIN BEKU VAKUM PADA PENDINGINAN CABAI MERAH (*Capsicum annum* L.) MACHINE EFFICIENCY OF VACUUM FREEZE DRYER *Jurnal.Polsri.Ac.Id*, 11(01), 1–8. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/article/view/3104>
- FERNANDO L, V. (2009). *Analisa Proses Pendinginan Beku Vakum Aloe Vera Dengan Pemanfaatan Panas Buang Kondenser*. 95.
- Fissore, D., Harguindeguy, M., Ramirez, D. V., & Thompson, T. N. (2020). Development of Freeze-Drying Cycles for Pharmaceutical Products Using a Micro Freeze-Dryer. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 109(1), 797–806. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2019.10.053>
- Habibi, N. A., Fathia, S., & Utami, C. T. (2019). Perubahan Karakteristik Bahan Pangan pada Keripik Buah dengan Metode Freeze Drying (Review). *JST (Jurnal Sains Terapan)*, 5(2). <https://doi.org/10.32487/jst.v5i2.634>
- Handayani, S. U., Mujiarto, I., Siswanto, A. P., Ariwibowo, D., Atmanto, I. S., & Mustikaningrum, M. (2022). Materials Today : Proceedings Drying kinetics of chilli under sun and microwave drying. *Materials Today: Proceedings*, xxxx, 0–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.119>
- Hardwick, L. M., Nail, S. L., Jarman, J., Hasler, K., & Hense, T. (2013). A proposed rationale and test methodology for establishment of acceptance criteria for vacuum integrity testing of pharmaceutical freeze dryers. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 85(2), 236–239. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2013.05.021>
- Hartuti, N., & Sinaga, R. M. (1997). Pendinginan Cabai. *Monograf No. 8*, 8, 12.
- Kosasih, E. A., Zikri, A., & Dzaky, M. I. (2020). Case Studies in Thermal Engineering Effects of drying temperature , airflow , and cut segment on drying rate and activation energy of elephant cassava. *Case Studies in Thermal Engineering*, 19(March), 100633. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100633>
- Leviana, W., & Paramita, V. (2017). Pengaruh Suhu Terhadap Kadar Air Dan Aktivitas Air Dalam Bahan Pada Kunyit (*Curcuma Longa*) Dengan Alat Pendingin Electrical Oven. *Metana*, 13(2), 37. <https://doi.org/10.14710/metana.v13i2.18012>
- Lina. (2013). Standarisasi ekstrak rimpang kunyit. *Skripsi, Universita*.
- Nakagawa, K., Horie, A., Nakabayashi, M., & Nishimura, K. (2021). Influence of processing conditions of atmospheric freeze-drying / low-temperature drying on the drying kinetics of sliced fruits and their vitamin C retention. *Journal of Agriculture and Food Research*,

- 6, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100231>
- Nofrianti, R. (2013). Metode Freeze Dryng Bikin Keripik Makin Crunchy. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan, II*(1), 6.
- Parker, J., & Smith, H. M. (2007). Design and construction of a freeze dryer incorporating improved standards of biological safety. *Journal of Applied Chemistry and Biotechnology, 22*(8), 925–932. <https://doi.org/10.1002/jctb.5020220807>
- Pratoto, A., & Huda, S. (2012). *Pengeringan Pasta Gambir (Uncaria Gambir Roxb) dengan Menggunakan Kulkas. Snttm Xi*, 16–17.
- Psimadas, D., Georgoulas, P., Valotassiou, V., & Loudos, G. (2012). Molecular Nanomedicine Towards Cancer: *Journal of Pharmaceutical Sciences, 101*(7), 2271–2280. <https://doi.org/10.1002/jps>
- Rambhatla, S., Tchessalov, S., & Pikal, M. J. (2006). Heat and mass transfer scale-up issues during freeze-drying, III: Control and characterization of dryer differences via operational qualification tests. *AAPS PharmSciTech, 7*(2). <https://doi.org/10.1208/pt070239>
- Sesugh Solomon, T., Tiough, D. M., & Nwakonobi, T. U. (2019). Design, Construction and Testing Of a Freeze Dryer for Vegetables. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI), 8*(8), 1–05. www.ijesi.org%7C%7CVolume8www.ijesi.org
- Setyadi, P., Rio, D. B., Setyawan, C. K., Tohir, A., & Faturohman Rekeyasa Keselamatan Kebakaran, A. (2021). Perhitungan Efisiensi Energi Mesin Pengering Vakum Pada Berbagai Temperatur (0,-5)^o C Dengan Kevakuman 0,03 Atm. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Kepada Masyarakat, 2021, 2021*. <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/snppm>
- Subakti. (2014). Universitas kristen Petra. *Perancangan Interior Pusat Mitigasi Di Jogja, 27*(1989), 6–23.
- Ulfa, M., & Dewi, A. (2022). Results in Engineering Using of exhaust gas heat from a condenser to increase the vacuum freeze-drying rate. *Results in Engineering, 13*(November 2021), 100317. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100317>
- Wang, B., Sun, P., Chen, B., Sajjad, U., & Yan, W. (2022). Case Studies in Thermal Engineering Influence of the process parameters on the energy conservation and quality of the kiwi fruit subjected to vacuum freeze-drying. *Case Studies in Thermal Engineering, 33*(March), 101935. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101935>
- Wardhani, R., Mashuri, M., Abieza, K. T., Tias, S. S. M., Kurniadi, U., Faturrahman, M. I., & Pamungkas, G. G. S. (2021). Rancang Bangun Alat Pengukur Gas Karbon Dioksida Pada Garasi Rumah Dengan Menggunakan Arduino Nano. *Jurnal Nasional Aplikasi Mekatronika, Otomasi Dan Robot Industri (AMORI), 2*(2), 40–43. <https://doi.org/10.12962/j27213560.v2i2.11645>
- Yulvianti, M., Ernayati, W., Tarsono, & R, M. A. (2015). Pemanfaatan ampas kelapa sebagai bahan baku tepung kelapa tinggi serat dengan metode freeze drying. *Jurnal Integrasi Proses, 5*(2), 101–107.
- Zakaria, M., Hendrawan, Y., & Djojowasito, G. (2017). Modelling of Turmeric (Curcuma Domestica Val.) Drying Using Machine Vision and Artificial Neural Network. *Agricultural Technology Journal, 18*(1), 11–20.
- Ziliwu, B. W., & Siahaan, J. P. (2020). (*Calculation of the Cooling Load in the Air Blast Freezer*). 6(September).

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Foto Alat



Foto Hasil Pengeringan



Foto Pengujian



BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Ponorogo, 1 Agustus 1999, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh Pendidikan formal di TK PGRI Kauman, SDN 1 Somoroto, SMPN 1 Ponorogo dan SMA Sampoerna. Setelah lulus SMA pada tahun 2018, Penulis mengikuti tes mandiri dan diterima Departemen Teknik Mesin Industri FV - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 10211810010050.

Di Departemen Teknik Mesin Industri Penulis sempat aktif di beberapa aktivitas seperti Tim Promosi Fakultas Vokasi tahun 2019, Kepala Departemen Akesma HMDM tahun 2020.