



TUGAS AKHIR - VM180629

**SIMULASI PENDINGINAN CEPAT STROBERI
MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN R-134A
UNTUK PENGAWETAN BEKU KERING DENGAN
APLIKASI COOLPACK DAN ASPEN PLUS**

**FIRMAN AMINUDIN
NRP 10211600000032**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Denny M. E. Soedjono, M.T.
NIP 19570331 198803 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
M. Lukman Hakim, S.T., M.T.
NIP 1994201911070**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



TUGAS AKHIR - VM180629

**SIMULASI PENDINGINAN CEPAT STROBERI
MENGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN R-134A
UNTUK PENGAWETAN BEKU KERING DENGAN
APLIKASI *COOLPACK* DAN *ASPEN PLUS***

**FIRMAN AMINUDIN
NRP 1021160000032**

**Dosen Pembimbing 1
Ir. Denny M. E. Soedjono, M.T.
NIP 19570331 198803 1 001**

**Dosen Pembimbing 2
M. Lukman Hakim, S.T., M.T.
NIP 1994201911070**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - VM180629

**SIMULATION OF FAST-FREEZING STRAWBERRY
WITH R-22 AND R-134A REFRIGERANT FOR FREEZE
DRYING USING COOLPACK AND ASPEN PLUS
APPLICATION**

**FIRMAN AMINUDIN
NRP 1021160000032**

**Counselor Lecturer 1
Ir. Denny M. E. Soedjono, M.T.
NIP 19570331 198803 1 001**

**Counselor Lecturer 2
M. Lukman Hakim, S.T., M.T.
NIP 1994201911070**

**INDUSTRIAL MECHANICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Vocation
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



**LEMBAR PERNYATAAN TIDAK
MELAKUKAN PLAGIASI**

PERNYATAAN TIDAK MELAUKAN PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Firman Aminudin
NRP : 10211600000032
Program Studi : Diploma III Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin Industri
Vakultas : Vokasi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir (TA) yang saya tulis ini benar-benar tulisan saya dan bukan merupakan hasil plagiat. Apabila di kemudian hari terbukti dapat dibuktikan TA ini hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – ITS.

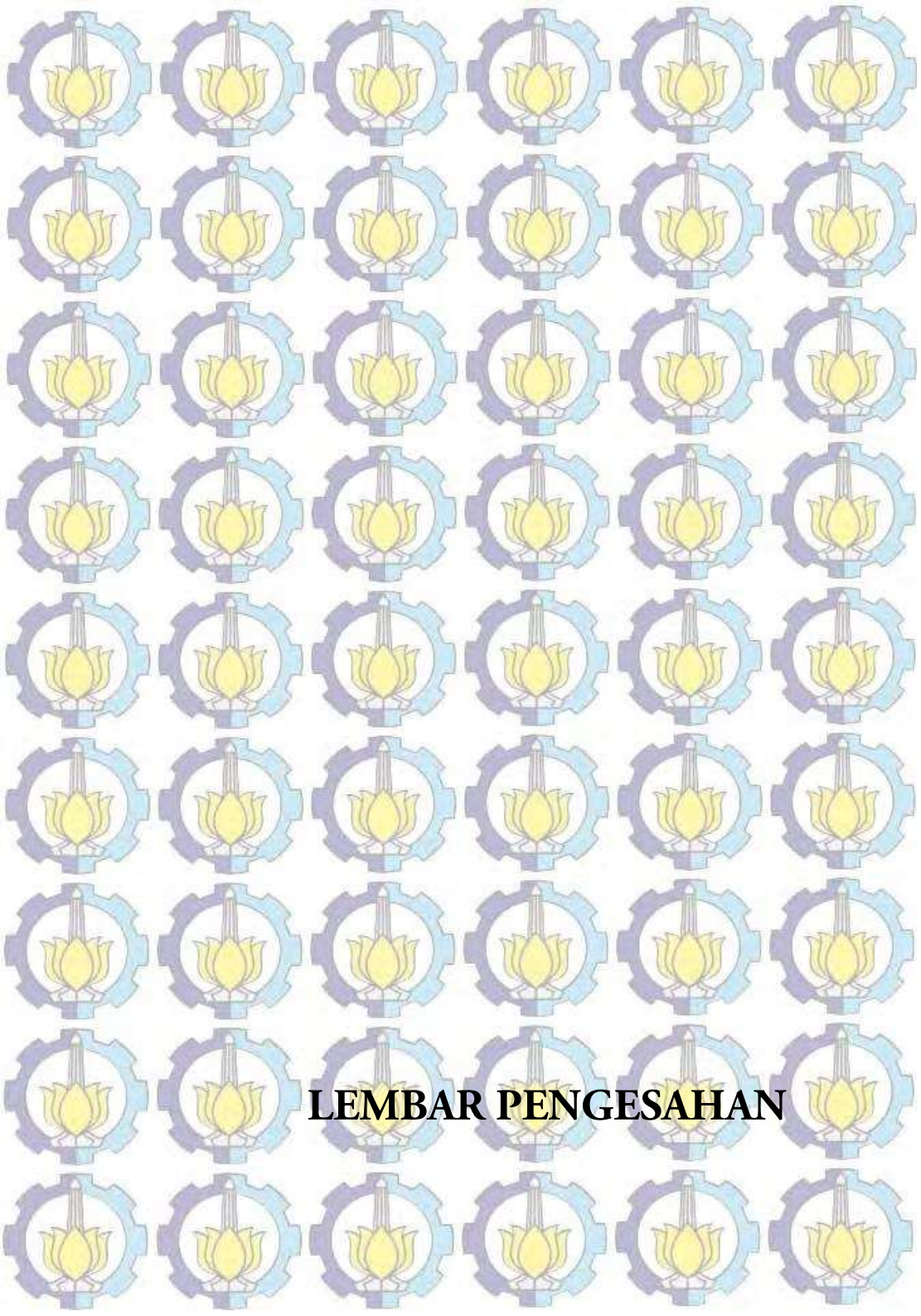
Surabaya, 30 Desember 2019

Penulis



Firman Aminudin

NRP 10211600000032



LEMBAR PENGESAHAN

**SIMULASI PENDINGINAN CEPAT STROBERI
MENGUNAKAN REFRIGERANT R-22 DAN R-134A
UNTUK PENGAWETAN BEKU KERING DENGAN APLIKASI
COOLPACK DAN ASPEN PLUS**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA

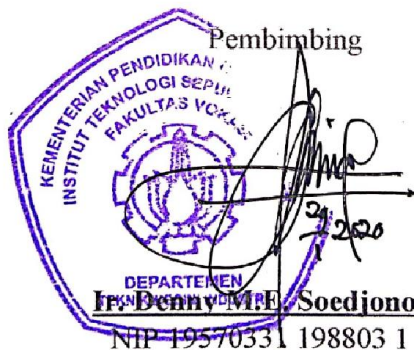
Oleh :

FIRMAN AMINUDIN

NRP. 10211600000032

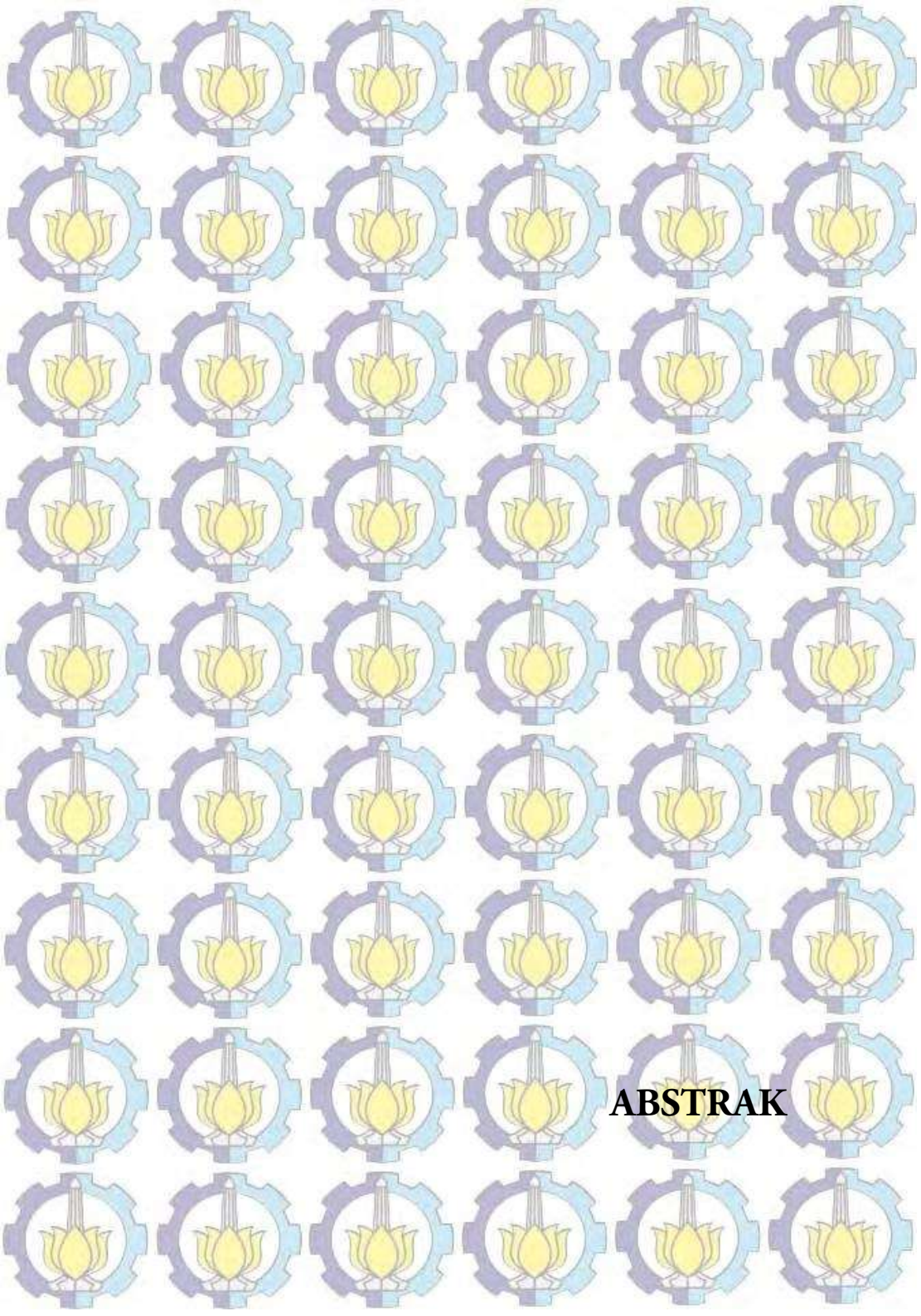
Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing



Irfan Denny MPE Soedjono, MT
NIP. 19570331 198803 1 001

**SURABAYA
JANUARI 2020**

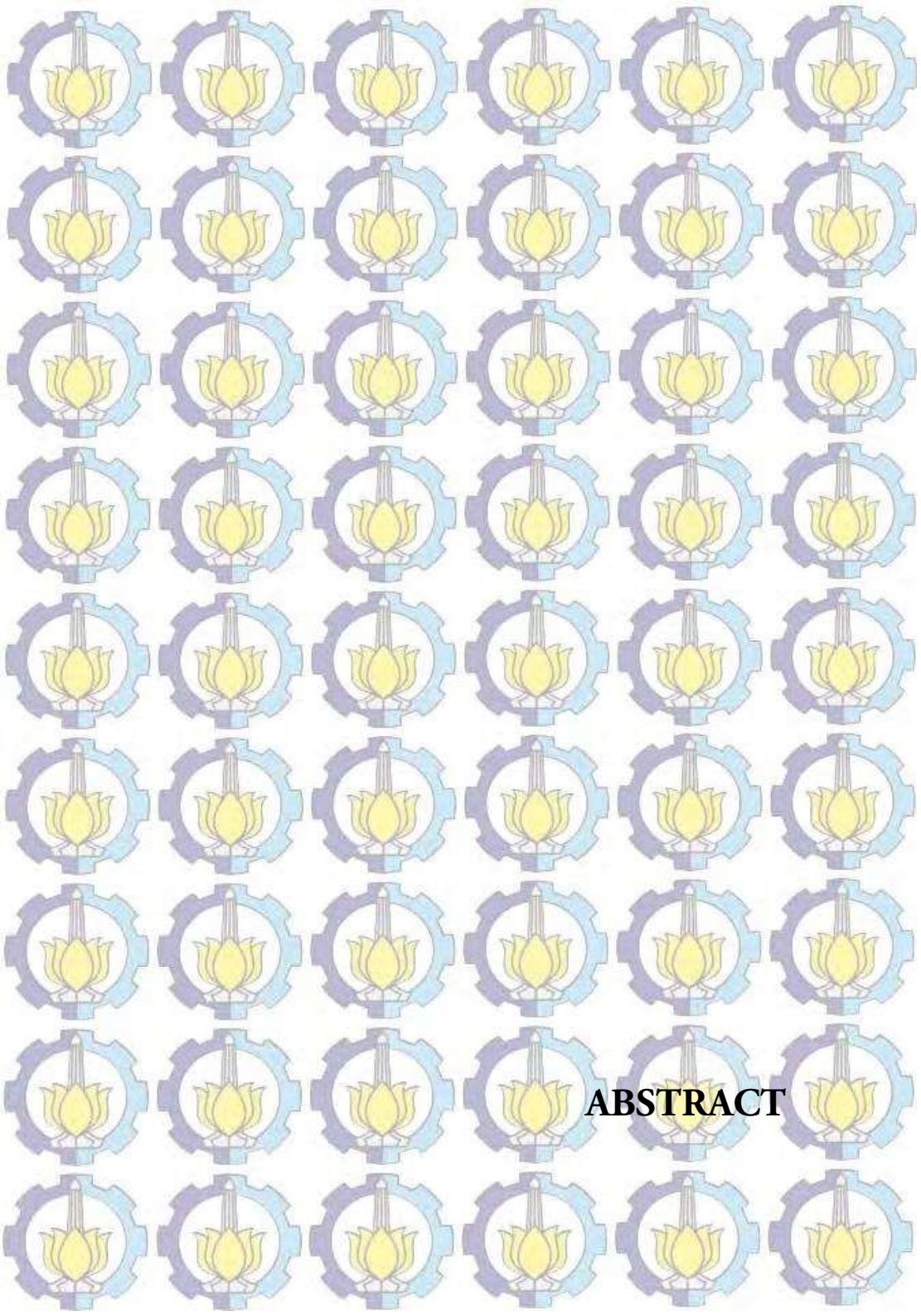


ABSTRAK

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat simulasi dari sistem pendinginan cepat yang akan digunakan dalam proses pengawetan beku kering untuk stroberi dan mencari nilai performa dari sistem pendinginan cepat. Metode penelitian yang digunakan adalah simulasi analisis, yaitu melakukan simulasi menggunakan aplikasi *Coolpack* dan aplikasi ASPEN PLUS V11. Selanjutnya dari hasil percobaan tersebut didapatkan data yang akan dilakukan analisa berupa perhitungan-perhitungan. Sampel yang akan digunakan dalam proses percobaan adalah refrigeran jenis R-22 dan R-134a. Hasil dari simulasi yang dilakukan refrigeran yang paling cocok digunakan di pendinginan cepat dari desain yang sudah dibuat adalah R-22. Dengan tekanan pada evaporator sebesar 0,8 bar dan tekanan pada kondensor sebesar 16 bar, nilai *coefficient of performance* yang dicapai sebesar 1,7. Dengan desain *freezer* yang telah dibuat bisa menampung maksimal 28 kilogram stroberi. Kapasitas refrigerasi yang dibutuhkan untuk mendinginkan stroberi sebesar 940 Watt. Sehingga daya kompresor yang dibutuhkan untuk desain *freezer* yang akan dibuat sebesar 544 Watt.

Kata kunci : stroberi, pengeringan beku, pendingin, coefficient of performance

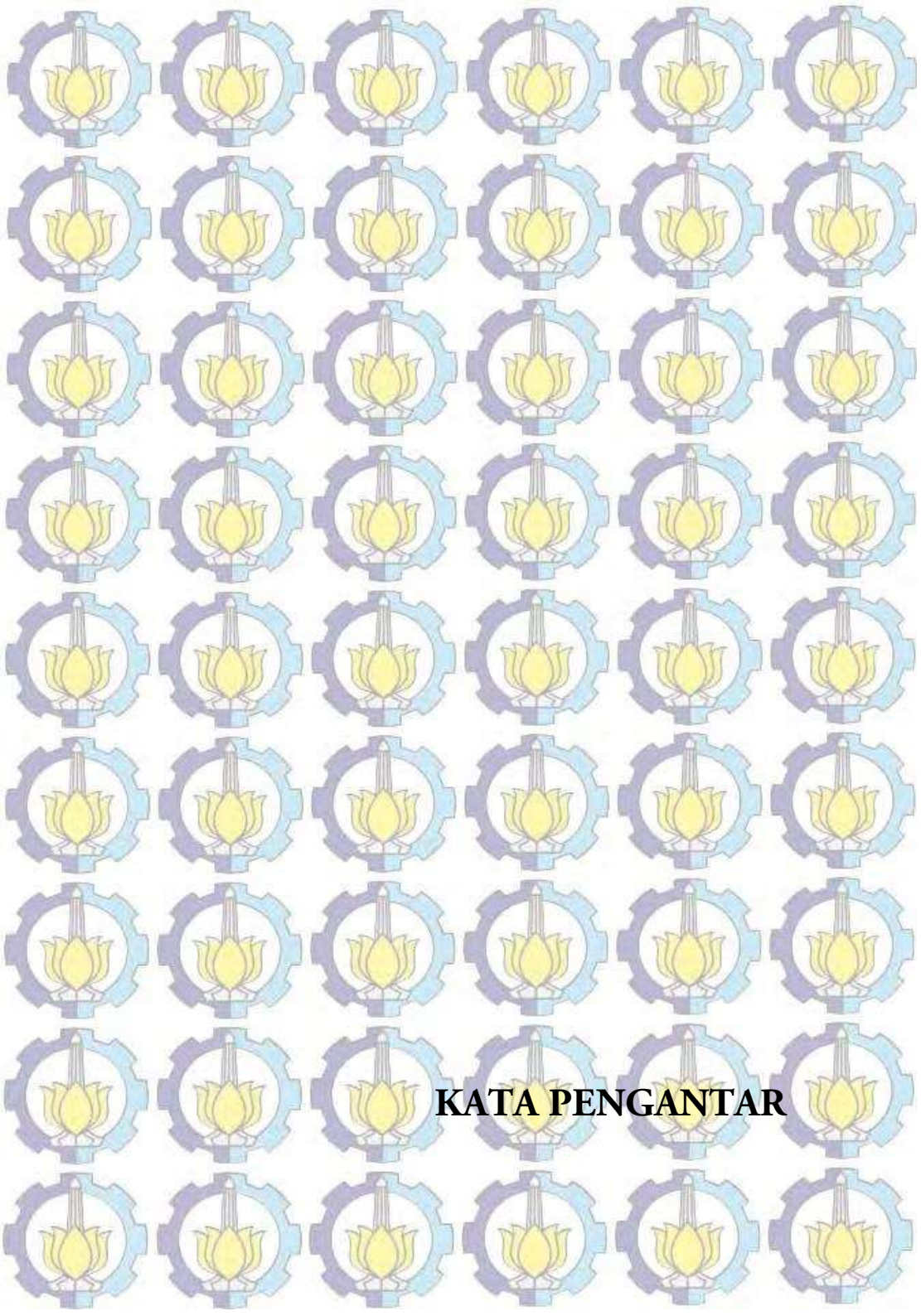


ABSTRACT

ABSTRACT

This study aims to design a simulation of quick freezing system that will be used in the freeze drying to strawberries and to find the performance value of quick freezing system. The research method used is experimental simulation, which is conducting an experiment using Coolpack and ASPEN PLUS V11 application. Furthermore, the results of these experiments to be analyzed in the form of calculations. The sample to be used in experiment is refrigerant R-22 and R-134a. Results of the analysis conducted, suitable refrigerant used for the quick freezing system from design that has been made is R-22. With pressure of evaporator 0,8 bar and pressure of condenser 16 bar, the value from coefficient of performance that achieved is 1,7. With quick freezing system design that has been made can accommodate a maximum of 28 kilograms of strawberries. The refrigeration capacity needed to quick freezing system the strawberries is 940 Watt. So that compressor power needed for the quick freezing system design is 544 Watt.

Keywords : strawberry, freeze drying, freezer, coefficient of performance



KATA PENGANTAR

KATA PENGANTAR

AlhamdulillahRobbil'Alamin, Segala Puji dan syukur dipanjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, serta inayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul "Simulasi Pendinginan Cepat Sroberi Menggunakan Refrigeran R-22 dan R-134a untuk Pengawetan Beku Kering dengan Aplikasi *Coolpack* dan ASPEN PLUS" dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Ahli Madya Teknik pada program diploma Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penelitian ini tidak akan dapat selesai tanpa bantuan dari semua pihak. Peneliti ucapkan terima kasih untuk itu. Terima kasih:

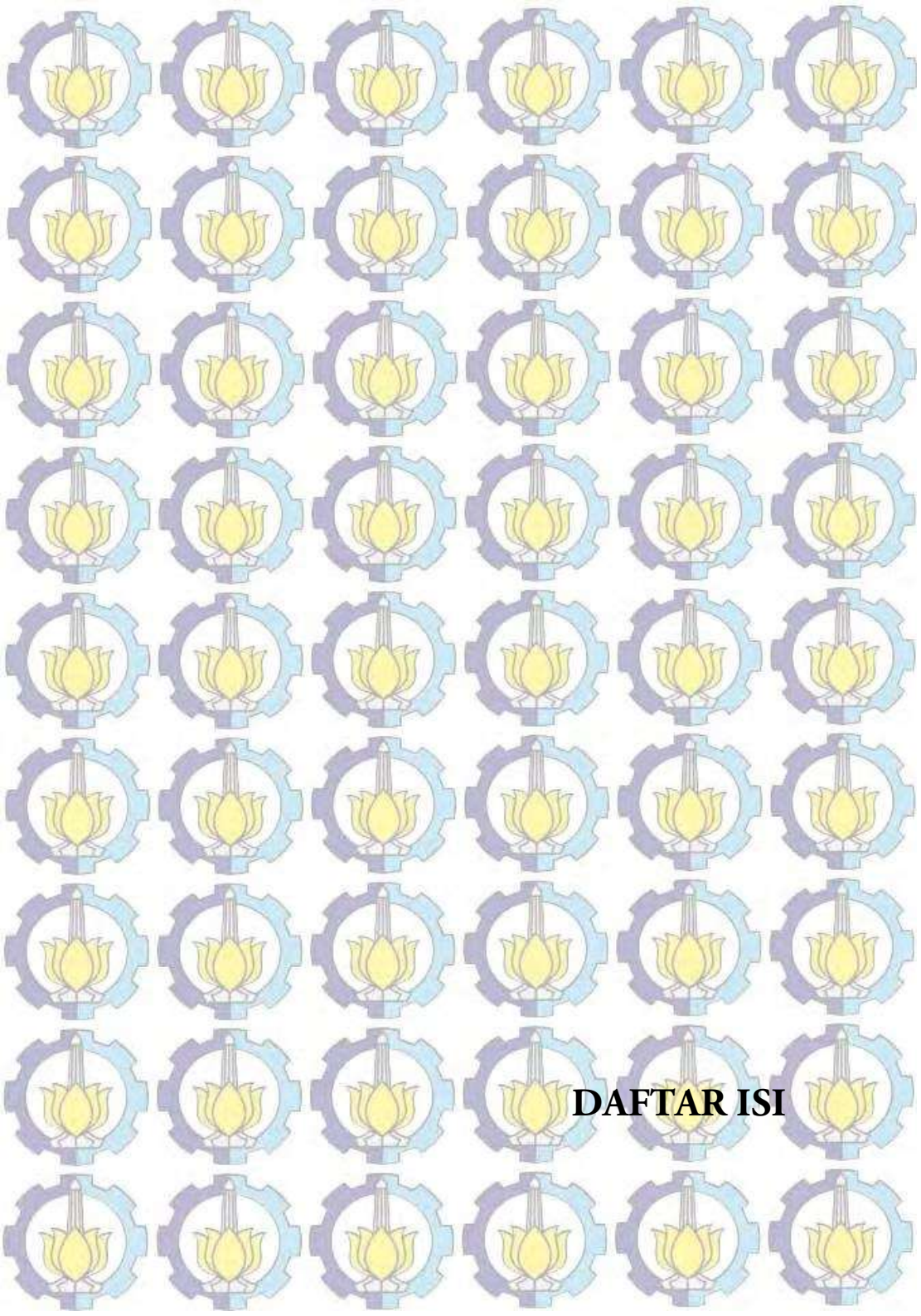
1. Tuhan Yang Maha Esa atas keadaan ini.
2. Keluarga saya yang selalu memberi dukungan terhadap kelancaran pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Denny M. E. Soedjono, M.T. dan bapak M. Lukman Hakim, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, kritik dan saran yang diberikan dalam penelitian ini.
4. Seluruh bapak dan ibu dosen Teknik Mesin Industri FV ITS dan seluruh ITS dalam bimbingannya.
5. Miftahulkhair Putera selaku partner dalam penelitian Tugas Akhir ini.
6. Semua teman – teman yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang bersedia membantu dalam mengerjakan Tugas Akhir penulis.

Penelitian ini tentunya tidaklah sempurna. Terdapat banyak hal yang bisa dikembangkan baik dalam proses penelitian maupun dalam penulisan laporan. Oleh karena itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat dibutuhkan agar penelitian ini lebih baik. Akhir kata penulis berdoa agar segala bantuan yang diberikan mendapat balasan dan rahmat dari Allah SWT. Dan semoga hasil dari laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat sebagaimana yang diharapkan. Amin

Surabaya, 30 Desember 2019

Penulis

Firman Aminudin



DAFTAR ISI

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT... ..	iii
LEMBAR PENGERAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II DASAR TEORI.....	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Fase Penyubliman Air	8
2.3 Refrigeran.....	9
2.4 Siklus Kompresi Uap	12
2.5 Sifat Termal dari Buah.....	14
2.6 Prinsip Pengeringan Beku	15
2.6.1 Proses Freezing	15
2.6.2 Proses Drying.....	17
2.7 Perhitungan Siklus Kompresi Uap	19
2.7.1 Representasi Siklus Kompresi Uap pada Diagram p-h (Tekanan-Enthalpy).....	20

2.8 Efek dari Perubahan Tekanan Evaporator.....	23
2.9 Efek dari Perubahan Tekanan Kondensor.....	23
2.10 Efek dari Suction Vapour Superheat.....	24
2.11 Efek dari Liquid Subcooling.....	26
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	27
3.1 Tahap Penelitian.....	27
3.2 Diagram Alir Penelitian	27
3.3 Penjelasan Diagram Alir	29
3.3.1 Tinjauan Pustaka	29
3.3.2 Pembuatan Desain Bentuk Freezer.....	29
3.3.3 Penentuan Refrigeran	32
3.3.4 Menentukan Variasi Nilai Tekanan di Titik 1 dan 3.....	38
3.3.5 Pengambilan Data.....	39
3.3.6 Perbandingan Data antara Coolpack dengan ASPEN PLUS	40
3.3.7 Pemilihan Refrigeran Terbaik dan perhitungan Daya kopresor	40
3.3.8 Penyusunan Laporan	40
3.4 Prosedur Pengambilan Data di Coolpack.....	40
3.5 Prosedur Pengambilan data di ASPEN PLUS V11.....	44
BAB IV HASIL DAN PERHITUNGAN	49
4.1 Desain Freezer.....	49
4.2 Hasil Data CoolPack	50
4.3 Pengolahan Data CoolPack	53
4.4 Perhitungan Nilai Daya Kompresi	56
4.5 Pengecekan Realisasi Menggunakan Mach Number ...	64
4.6 Pengolahan Data ASPEN PLUS	66

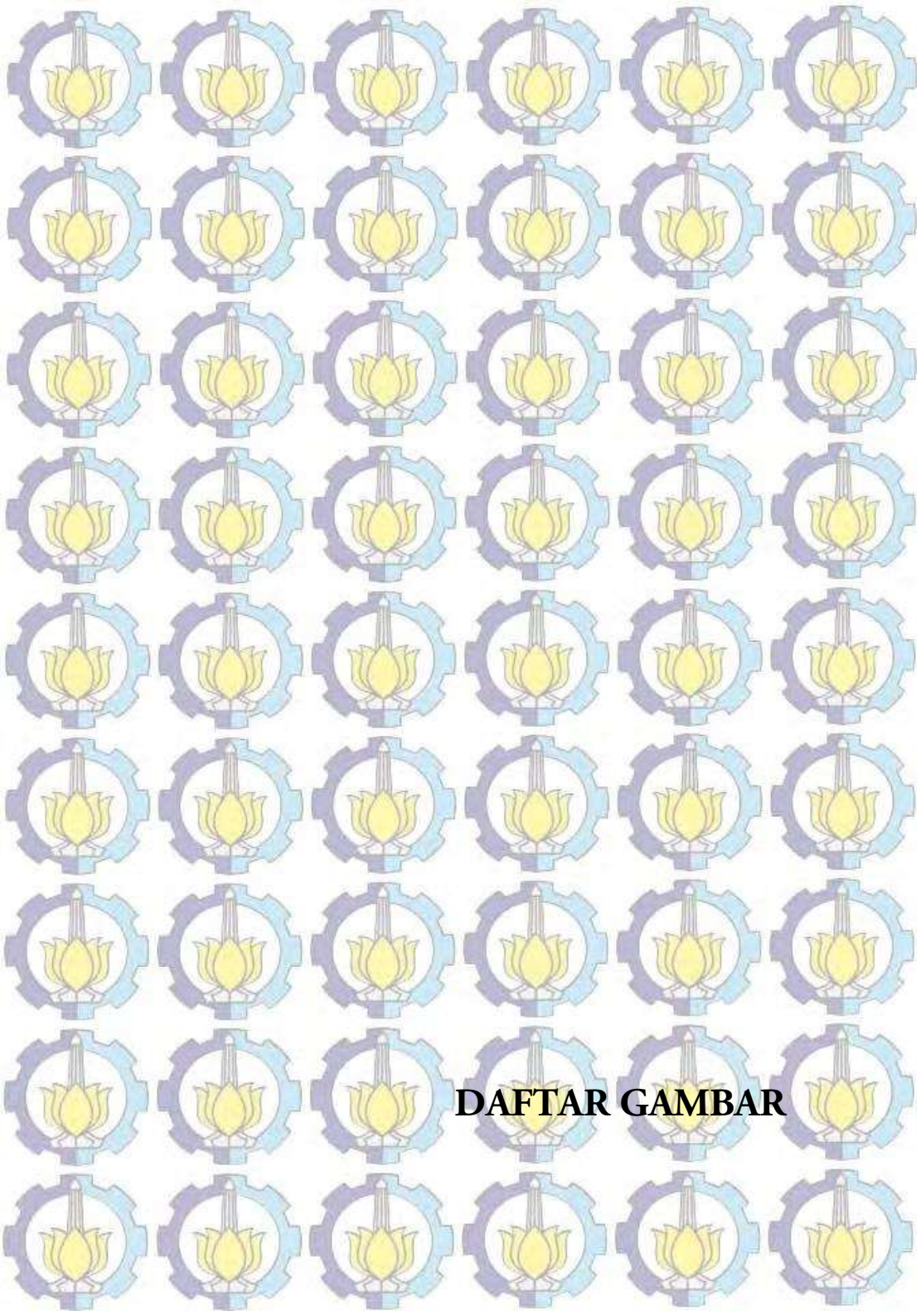
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran.....	69

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

Halaman ini sengaja dikosongkan.

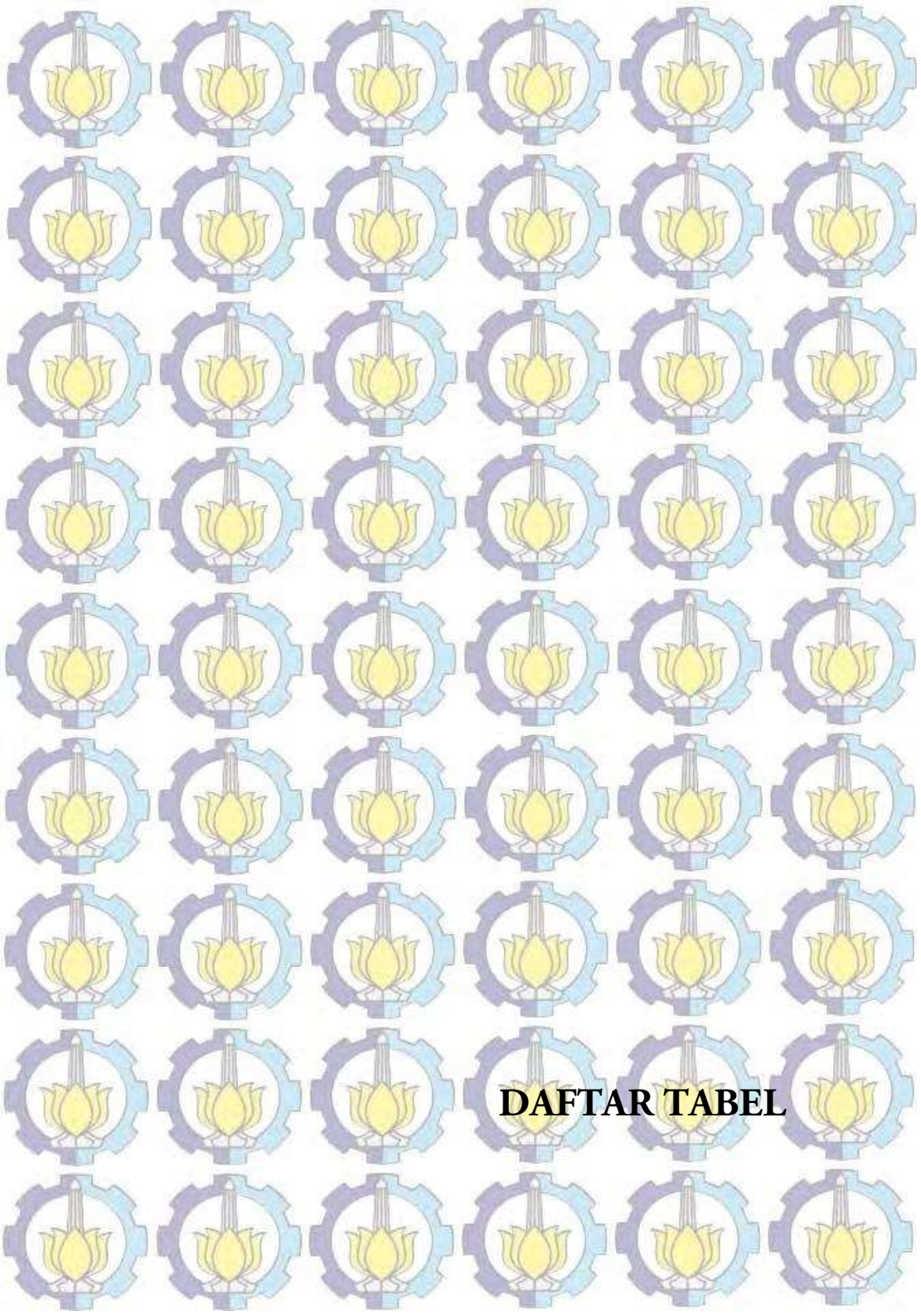


DAFTAR GAMBAR

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram P-T fase air melihat kondisi penyubliman.....	8
Gambar 2.2 Siklus kompresi uap	12
Gambar 2.3 Siklus kompresi uap pada p-h diagram	14
Gambar 2.4 Diagram P-T fase air melihat kondisi penyubliman.....	16
Gambar 2.5 Pompa Vakum.....	17
Gambar 2.6 ice collector (pengumpul es)	18
Gambar 2.7 Efek dari perubahan tekanan evaporator	23
Gambar 2.8 Efek dari perubahan tekanan kondensor.....	24
Gambar 2.9 Efek dari suction <i>vapour superheat</i>	24
Gambar 2.10 Efek dari liquid subcooling	26
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir.....	28
Gambar 3.2 Desain ukuran freezer.....	30
Gambar 3.3 Diagram P-h dari saturation dan standard vapor compression.....	36
Gambar 3.4 (A) Siklus kompresi uap dan (B) P-h diagram dari siklus kompresi uap.....	38
Gambar 3.5 Tampilan layar “Refrigeration utilities”	41
Gambar 3.6 Tampilan <i>set properties</i> pada diagram log(p)-h	41
Gambar 3.7 Tampilan diagram log(p)-h.....	42
Gambar 3.8 Tampilan ”cycle input”	42
Gambar 3.9 Informasi berupa data dari siklus kompresi uap	43
Gambar 3.10 Informasi nilai tiap titik siklus kompresi uap.	44
Gambar 3.11 Tampilan <i>properties</i> dari ASPEN PLUS.....	44
Gambar 3.12 Tampilan simulation dan siklus kompresi uap	45
Gambar 3.13 Tampilan Results dari ASPEN PLUS	47
Gambar 4.1 Grafik daya kompresi dari R-22	61
Gambar 4.2 Grafik daya kompresi dari R-134a	61

Gambar 4.3 Grafik *Coefficient of Performance* dari R-22... 62
Gambar 4.4 Grafik *Coefficient of Performance* dari R-134a 63

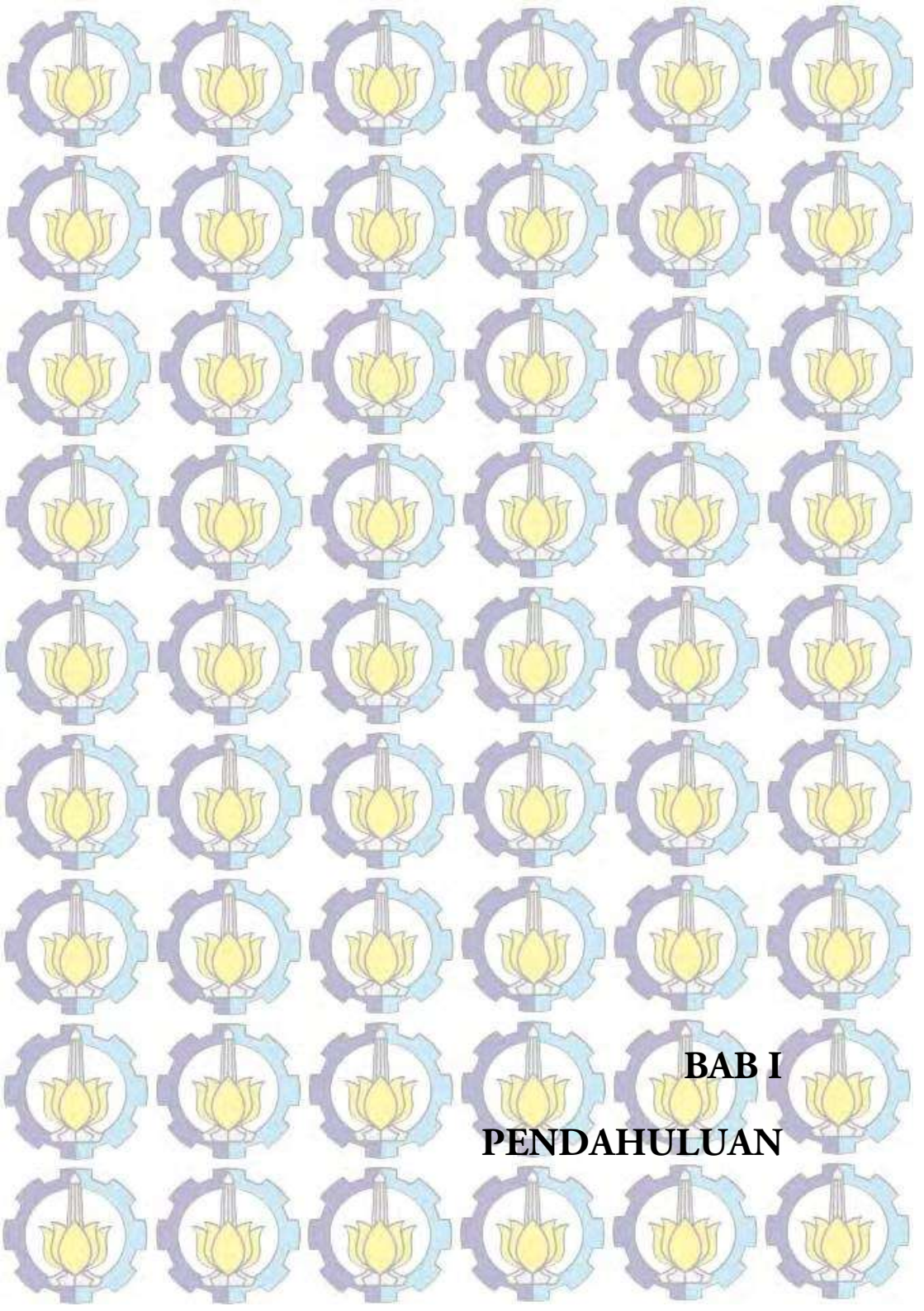


DAFTAR TABEL

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Luas Panen, Produksi, dan Hasil Per Hektar Stroberi Tahun 2018.....	1
Tabel 2.1 Klasifikasi keamanan refrigeran sesuai <i>ANSI/ASHRAE Standard 34</i>	11
Tabel 2.2 Kadar air dalam buah (Canet, 1998).	14
Tabel 3.1 Daftar refrigeran yang tidak memenuhi batasan temperatur	34
Tabel 3.2 Pemilihan refrigeran yang sesuai	37
Tabel 4.1 Batas tekanan kondisi 1 dan 3 refrigeran yang digunakan	50
Tabel 4.2 Hasil data <i>coolpack</i> dari R-22	51
Tabel 4.3 Hasil data <i>coolpack</i> dari R-134a	52
Tabel 4.4 Hasil perhitungan efek refrigerasi dan kerja kompresi R-22	54
Tabel 4.5 Hasil perhitungan efek refrigerasi dan kerja kompresi R-134a	55
Tabel 4.6 Hasil perhitungan daya kompresi dan <i>Coeficient of Performance</i>	60
Tabel 4.7 Interpolasi nilai density R-22 pada temperatur -45°C	64
Tabel 4.8 Interpolasi nilai density R-22 pada temperatur 40°C	64

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman saat ini, pemanfaatan teknologi telah menyebar ke berbagai aspek kehidupan manusia, salah satunya teknologi dalam pengawetan bahan makanan. Buah dan Sayur merupakan bahan makanan yang hanya bertahan dalam waktu yang singkat. Hal ini disebabkan oleh aktivitas mikroba didalam buah atau sayur, yang dapat mengurangi mutu buah atau sayur.

Stroberi adalah salah satu dari buah semusim yang juga dibudidayakan di Indonesia. Sayangnya, menurut data Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Semusim Indonesia tahun 2018, stroberi memiliki jumlah luas panen dan jumlah produksi belum habis lebih banyak dibandingkan jumlah luas panen dan produksi yang sudah habis. Hal ini menyebabkan produksi stroberi tahun 2018 mengalami penurunan jumlah produksi sebesar 30,13% dibandingkan dengan produksi tahun 2017. (Dikutip dari katalog “Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Semusim Indonesia 2018”)

Tabel 1.1 Luas Panen, Produksi, dan Hasil Per Hektar Stroberi Tahun 2018

Provinsi	Luas Panen Habis	Luas Panen Belum Habis	Produksi Habis	Produksi belum Habis	Hasil Per Hektare
	Ha	Ha	Ton	Ton	Ton/Ha
Sumatera Utara	29	8	53	181	6,32

Sumatera Barat	48	5	61	229	5,47
Jawa Barat	147	130	1698	4598	22,73
Jawa Tengah	24	11	17	244	7,46
Jawa Timur	38	13	48	337	7,55
Bali	12	31	21	564	13,60
NTB	19	0	167	45	11,16
Sulawesi Selatan	46	17	46	222	4,25
Total	363	215	2111	6420	14,76

Sumber : Statistik Tanaman Sayuran dan Buah-buahan Semusim Indonesia 2018

Salah satu teknologi yang berkembang untuk mengatasi masalah tersebut dengan menggunakan *Freeze Dryer*. Alat ini menggunakan metode *freeze drying* (pengeringan beku). Metode pengeringan beku telah banyak digunakan di industri makanan agar dapat mengawetkan buah atau sayur.

Dalam pendinginan beku, ada tiga proses yang dilalui oleh buah atau sayur : *pre-freezing* (pendinginan awal), pemvakuman udara, dan sublimasi. Dalam penelitian ini, kita hanya fokus pada proses *pre-freezing*.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, rumusan masalah yang akan dibahas adalah :

1. Refrigerant mana yang paling optimal digunakan dalam proses pendinginan cepat dari pengeringan beku?

2. Bagaimana desain dari sistem pendinginan yang akan digunakan?
3. Bagaimana nilai performa dari sistem pendinginan yang akan digunakan?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, batasan masalah yang diberikan untuk lebih memfokuskan laporan tugas akhir adalah :

1. Hanya fokus ke sistem pendinginan dari sistem pengeringan beku.
2. Kondisi yang digunakan dalam kondisi ideal.
3. Menggunakan sistem pendinginan satu tingkat.
4. Kompresor bekerja secara isentropik.
5. Pendinginan pada kondensor menggunakan udara dengan temperatur 35°.
6. Suhu pendinginan untuk proses *freezing* dari pengeringan beku sebesar -40°C.
7. Tekanan yang keluar melewati alat ekspansi lebih besar dari 0,1 bar.
8. Refrigeran yang digunakan adalah R22 dan R134a
9. Aplikasi yang digunakan dalam simulasi adalah *Coolpack* dan *ASPEN PLUS*
10. Refrigeran yang digunakan dalam kelompok keamanan dari *ASHARE Standard 34* pada A1 dan A2.

1.4 Tujuan Penelitian

Dengan mengacu latar belakang dan rumusan masalah diatas maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Dapat menentukan refrigeran mana yang paling optimal untuk sistem pendinginan awal dari pengeringan beku.
2. Menghasilkan desain dari sistem pendinginan yang akan digunakan untuk proses pendinginan awal dari pengeringan beku.
3. Mengetahui performa yang dihasilkan dari desain alat pendinginan yang akan digunakan untuk proses pendinginan awal dari pengeringan beku.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari penelitian tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengetahui dan mampu membuat desain sistem pendinginan cepat untuk buah stroberi yang selanjutnya akan digunakan dalam proses pengawetan beku kering.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Pada Bab II menjelaskan teori – teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.

BAB III METODOLOGI PERCOBAAN

Pada Bab III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah

proses pengujian-pengujian yang dilakukan mulai dari persiapan sampai kesimpulan.

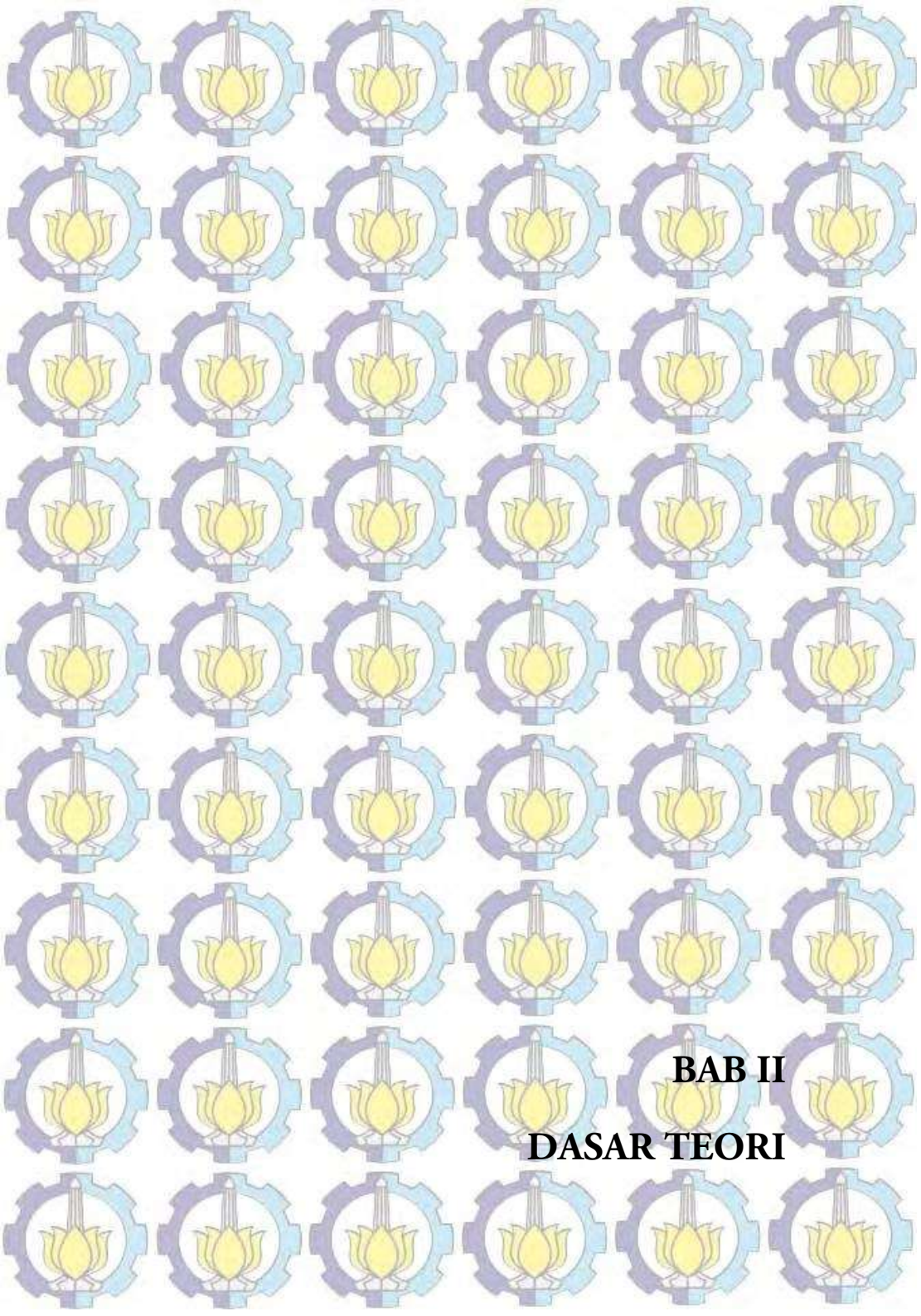
BAB IV ANALISA PERCOBAAN

Pada Bab IV Bab ini berisi mengenai uraian penjelasan untuk masalah perhitungannya. Serta hasil dari percobaan yang dilakukan beserta penbandingan dari kedua aplikasi yang digunakan.

BAB V PENUTUP

Pada Bab V ini berisikan kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan saran dari penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



BAB II
DASAR TEORI

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penyusunan tugas akhir ini dilakukan kajian pustaka dari beberapa penelitian-penelitian terdahulu mengenai freeze drying food sebagai bahan referensi. Penelitian-penelitian tersebut diantaranya :

1. Iwaniw, D.C., Mittal (1990)

Untuk pemeliharaan kualitas tekstur dalam pengeringan beku stroberi, tempertur tinggi dapat diterapkan bersama dengan pemanasan yang sangat rendah, untuk mencegah kehancuran dan keruntuhan sel

2. Hammami, C., Rene´ , F. (1997)

Mereka menemukan bahwa warna stroberi sangat tergantung pada suhu proses, tetapi tidak ada efek signifikan dari temperatur pelat pemanas yang menyusut.

3. Pääkkönen, K., Mattila, M. (1991)

Telah menemukan bahwa, selama pengeringan beku, struktur, warna dan aroma stroberi tetap tidak berubah, tetapi pemrosesan temperatur rendah meningkatkan kualitas sensorik dari buah-buahan kering

4. Gerschenson, L.N., Batholomai, G.B., Chirife, J. (1981)

Ketebalan produk adalah Faktor optimasi penting dalam proses ini karena pengurangannya akan mengurangi waktu pengeringan beku, mencegah

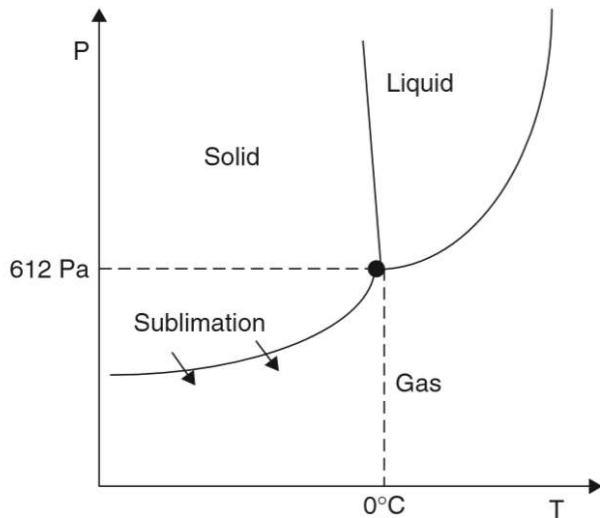
keruntuhan yang merupakan fenomena temperatur-waktu

5. Roos, Y. (1987)

Menunjukkan stroberi itu rentan terhadap kondisi temperatur yang relatif tinggi. Di penelitian ini, stroberi beku-kering pada temperatur 20 °C memiliki kualitas lebih tinggi daripada mereka yang pada temperatur 60 °C, yang sedikit berbeda dalam penampilan dan rasanya.

2.2 Fase Penyubliman Air

Sublimasi adalah proses perubahan dari padat ke gas tanpa melewati proses pencairan. Sublimasi terjadi pada kisaran temperature dan tekanan, tergantung dengan zat yang ditanyakan.



Gambar 2.1 Diagram P-T fase air melihat kondisi penyubliman
(Food Process Engineering and Technology, Zeki Berk)

Fase diagram p-t air di gambar 2.1 menunjukkan sublimasi dari fase beku ke fase gas air berlaku jika tekanan dan temperatur harus lebih rendah dari nilai titik triple point air, yaitu lebih rendah dari 611.73 Pa dan 0.0098 °C.

Secara teoritis, pengeringan beku bisa terjadi pada tekanan atmosfer, asalkan tekanan parsial uap air sangat rendah, yaitu udaranya sangat kering (Karel,1975). Pengeringan beku pada atmosferik yang terjadi di alam, misalnya ketika salju menghilang tanpa meleleh dalam cuaca dingin dan kering. Namun dalam praktiknya, pengeringan beku dilakukan keluar pada tekanan total yang sangat rendah (biasanya 10 hingga 50 Pa). Pada tekanan rendah seperti itu, air uap memiliki volume spesifik yang sangat besar. Untuk menghapus volume sebesar itu uap dalam keadaan gas, pompa vakum harus memiliki perpindahan besar yang tidak realistis kapasitas. Untuk mengatasi masalah ini, uapnya terkondensasi sebagai kristal es dipermukaan kondensor disimpan pada suhu yang sangat rendah (biasanya - 40 ° C atau kurang).

Pengeringan beku terjadi dalam dua tahap (Pikal et al., 1990; Oetjen, 1999). Tahap pertama pengeringan sublimasi di mana sublimasi air beku (kristal es) terjadi. Biasanya, sebagian besar air dalam makanan dihilangkan pada tahap ini. Tahap kedua adalah pengeringan desorpsi selama sebagian besar air teradsorpsi pada padatan matriks dihapus. Biasanya, pengeringan beku dilakukan sampai kadar uap airnya mencapai 1-3%.

2.3 Refrigeran

Refrigeran atau zat pendingin atau bahan pendingin adalah suatu zat atau campuran, biasanya berupa cairan, yang digunakan dalam proses dimana dengan menyerap panas di satu

tempat dan membuangnya di tempat lain pada siklus pendinginan. Refrigeran adalah zat yang menguap dari cairan ke gas, hal ini dilakukan pada suhu dan tekanan rendah. Refrigeran mengeluarkan panas laten ketika kondensasi dari gas ke cairan pada suhu tinggi. Fluorokarbon jenis refrigeran yang biasa digunakan pada abad ke-20, terutama klorofluorokarbon, tetapi dikarenakan adanya efek penipisan ozon pada fluorokarbon maka pelarangannya pun sedikit demi sedikit di buat.

Sifat yang diinginkan dari refrigerant yang baik untuk penggunaan komersial adalah :

1. Rendah titik didihnya
2. Aman dan tidak beracun
3. Mudah dicairkan dan temperatur dan tekanan sedang
4. Nilai panas latent tinggi
5. Beroperasi pada tekanan positif
6. Tidak dipergaruhi oleh kelembapan
7. Mudah bercampur dengan oli
8. Tidak menimbulkan karat pada sistem

Pilihan pendingin untuk aplikasi tertentu diatur terutama oleh kapasitas pendinginan (sangat kecil, kecil, sedang atau besar), dan temperatur refrigerannya yang diperlukan, seperti untuk pendingin udara (5°C), lemari es (-10 hingga 2°C), *cool-storage* (-25°C), pengawetan beku kering (-40°C), dan lain - lain.

Menurut standar ANSI/ASHRAE no. 34, refrigeran diklasifikasikan menjadi kelompok keamanan (*safety*) dengan penamaan dua hingga 3 alfabet dan numerik (misal : B1, A2L). Huruf alfabet menunjukkan tingkat keracunan sementara angka menunjukkan sifat mudah atau sulit terbakar. Tingkat keracunan dikelompokkan menjadi dua, yaitu tingkat keracunan tinggi dengan simbol B dan tingkat keracunan

rendah dengan simbol A. Klasifikasi tingkat mudah terbakar dikelompokkan menjadi 4 kelompok, yaitu :

- 1 artinya api tidak merambat ke refrigeran
- 2L artinya perambatan api pada refrigeran rendah
- 2 artinya api bisa merambat pada refrigeran
- 3 artinya api mudah merambat pada refrigeran

Sehingga menurut tingkat keamanannya, refrigeran dapat dikelompokkan pada tabel 2.1 beserta contoh refrigerannya.

Tabel 2.1 Klasifikasi Keamanan Refrigerants sesuai *ANSI/ASHRAE Standard 34*

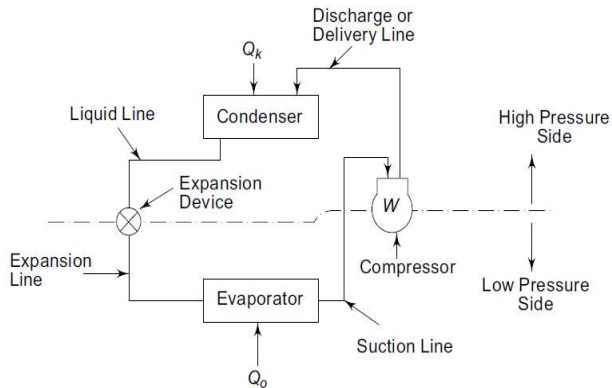
Flamibility	Higher Flamibility	A3 R-290 R-1270 R-600 R-600a	B3
	Lower Flamibility	A2 R-152a	B2
		A2L	B2L R-717
	No Flamibility	A1 R-12 R-22 R-134a	B1
		Lower Toxicity	Higher Toxicity
Toxicity			

Menteri Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia telah melakukan upaya mengurangi pemanasan global dengan membatasi penggunaan refrigeran yang dapat merusak ozon. Pelarangan penggunaan refrigeran yang bisa merusak ozon sudah berlaku penuh sejak tahun 2005. Refrigeran yang termasuk dalam kategori merusak ozon sesuai

dengan Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan RI nomor 110/MPP/Kep/1998 diantaranya :

1. CFC-11 (R11)
2. CFC-12 (R12)
3. CFC-113 (R113)
4. CFC-114 (R114)
5. CFC-115 (R115)
6. CFC-13 (R13)
7. CFC-112 (R112)
8. CFC-111 (R111)
9. CFC-217 (R217)
10. CFC-216 (R216)
11. CFC-215 (R215)
12. CFC-214 (R214)
13. CFC-213 (R213)
14. CFC-212 (R212)
15. CFC-211 (R211)
16. R-502

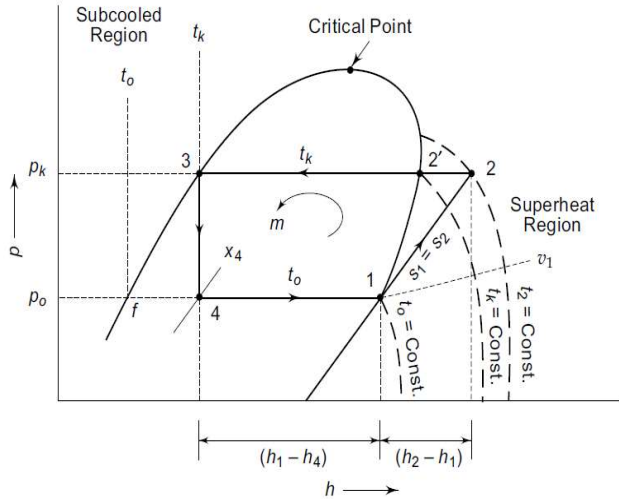
2.4 Siklus Kompresi Uap



Gambar 2.2 Siklus kompresi uap
(Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)

Pada siklus kompresi uap terdiri dari beberapa proses yaitu:

1. Kompresi: uap jenuh pada tekanan P_1 (gambar 2.3 titik kondisi 1) dikompresi menjadi tekanan P_2 (gambar 2.3 titik kondisi 2). Idealnya, diasumsikan kompresi bekerja secara isentropik. Kerja input disuplai dari kompresor
2. Kondensasi: uap yang terkompresi didinginkan sampai benar-benar terkondensasi sebagai cairan jenuh (gambar 2.3 titik kondisi 3). Idealnya, pendinginan diasumsikan terjadi pada tekanan konstan. Panas yang dikeluarkan dari uap yang terkondensasi ditransfer ke media pendingin seperti udara atau air. Secara fisik, langkah ini berlangsung pada kondensor.
3. Ekspansi: tekanan cairan dilepaskan melalui *throttling* (misal. katup ekspansi), turun ke tekanan P_1 (gambar 2.3 titik kondisi 4). Proses *throttling* seharusnya isentalpi, tidak melibatkan pertukaran energi. Titik kondisi 4 mewakili campuran *saturated vapor* dan *saturated liquid*.
4. Evaporasi: panas ditransfer ke campuran cairan-uap sampai semua cairan diuapkan (kembali ke titik kondisi 1). Hal ini adalah langkah siklus yang bermanfaat pada siklus kompresi uap. Secara fisik, langkah ini terjadi pada penukar panas dikenal sebagai evaporator.



Gambar 2.3 Siklus kompresi uap pada p-h diagram (Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)

2.5 Sifat Termal dari Buah

Sifat termal dari buah didominasi oleh kadar air yang terkandung dalam buah. Kalor spesifik dan kalor laten dari makanan dihitung berdasarkan kadar air dari kandungan buah. Kadar air ditentukan dengan metode *microwave oven* dengan sampel buah dipotong 20 gram (Canet, 1988).

Tabel 2.2 Kadar air dalam buah (Canet, 1998).

Buah (sampel buah potongan 20 gram)	Kadar air (Konversi dari metode <i>microwave oven</i>)
Apel	87,4%
Pir	85,19%
Stroberi	90,76%
Pisang	72,1%
Alpukat	61,61%

Kalor spesifik dari buah dapat dinyatakan dalam rumus Siebel sebagai berikut :

$$C_{p,segar} = 3,35a + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,beku} = 1,26a + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

Dimana $C_{p,segar}$ dan $C_{p,beku}$ adalah kalor sensibel dari buah sebelum dan sesudah pembekuan. Nilai a adalah fraksi dari kadar air (misal, apel = 0,87). Rumus Siebel dibuat berdasarkan kalor spesifik air dan es pada temperatur $0^\circ C$. Hasilnya rumus kalor sensibel sebelum dan sesudah pembekuan memiliki nilai kadar air (kondisi cair maupun beku) $a = 1$ sehingga nilai kalor sensibelnnya sebesar $4,19 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$ dan $2,1 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ C$. Rumus Siebel memberikan nilai kalor sensibel pada $0^\circ C$ tetapi rumus ini dapat digunakan dengan nilai temperatur yang lebih luas dengan akurasi yang masih wajar.

Kalor laten dari buah ketika pembekuan atau pencairan juga bergantung pada nilai kadar air dan dinyatakan sebagai berikut :

$$H_{laten} = 334a \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

Dimana nilai a adalah fraksi dari kadar air. Rumus ini juga dibuat berdasarkan kalor laten air ketika pembekuan atau pencairan sebesar 334 kJ/kg dalam kondisi atmosfer.

2.6 Prinsip Pengeringan Beku

Proses pengeringan beku terdiri dari dua tahap:

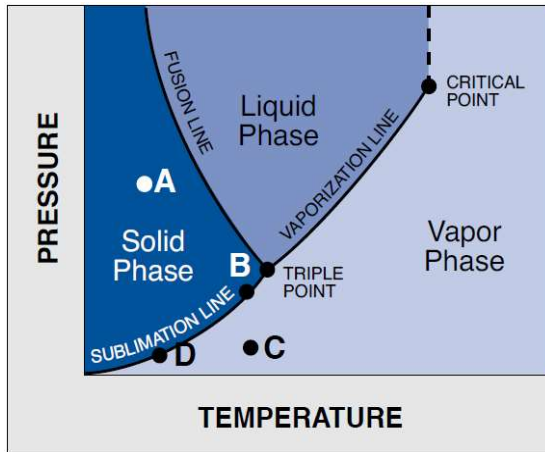
Freezing dan *drying*.

2.6.1 Proses *Freezing*

Metode *Freezing* (pembekuan) adalah penurunan temperatur sampai pada temperatur beku pada produknya, dikarena pengeringan beku

merubah keadaan dari fase padat ke fase gas, maka material yang ingin di pengeringan beku harus memadai temperatur pembekuannya. Temperatur pembekuan dari produknya mempengaruhi keberhasilan dalam proses pengeringan beku ini.

Pendinginan yang cepat menghasilkan kristal es kecil, berguna dalam struktur pengawetan untuk diperiksa secara mikroskopis, tetapi menghasilkan produk yang lebih sulit untuk di pengering beku. Pendinginan yang lebih lambat menghasilkan kristal es yang lebih besar dan mempermudah proses pengeringan beku.



Gambar 2.4 Diagram P-T fase air melihat kondisi penyubliman
(A Guide to Freeze Drying for the Laboratory, Labconco)

Pada gambar 2.4 titik A menunjukkan sangatlah penting dalam pengeringan beku untuk melakukan *freezing* (pembekuan) pada produk di bawah temperatur bekunya yaitu pada titik B pada gambar 2.4 sebelum memulai proses pengeringan

beku. Sekecil apapun material yang tidak terbekukan akan membuat material yang kurang stabil pada strukturnya.

2.6.2 Proses Drying

Setelah fase beku, kondisinya harus dirubah melalui sublimasi, dan menghasilkan produk kering, secara structural. Proses pengeringan beku ini membutuhkan kehati – hatian kontrol terhadap 2 parameter yaitu temperatur dan tekanan. Tingkat sublimasi es dari produk beku tergantung pada perbedaan tekanan uap produk dibandingkan dengan uap tekanan dari *ice collector* (pengumpul es).

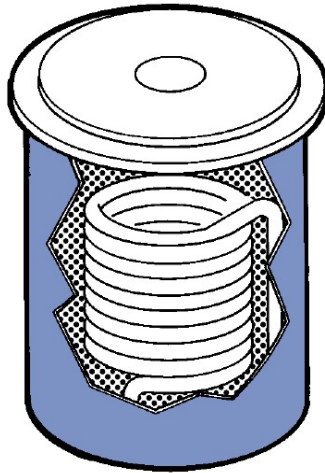
Pompa vakum adalah komponen penting dari sistem pengeringan beku. Pada gambar 2.4 pompa vakum digunakan untuk menurunkan tekanan (titik B) lingkungan di sekitar produk menuju ke Titik C.



Gambar 2.5 Pompa Vakum

(A Guide to Freeze Drying for the Laboratory,
Labconco)

Molekul pada produk berpindah dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Pada gambar 2.4 dikarena titik C terkait dengan titik D maka temperatur pada produk harus lebih tinggi daripada temperatur pada *ice collector* (pengumpul es) agar mendorong molekul air dari produk.



Gambar 2.6 *ice collector* (pengumpul es)
(A Guide to Freeze Drying for the Laboratory,
Labconco)

Setelah proses *drying* (pengeringan) dilakukan pemanasan dengan temperatur 50 °C, setelah itu produk akan memiliki kelembapan kurang dari 5%, hal ini akan membuat produk akan tahan lebih lama dikarenakan mikroba yang didalam produk tidak mengurai dengan dengan cepat dan mengakibatkan umur produknya menjadi panjang.

2.7 Perhitungan Siklus Kompresi Uap

Skema siklus kompresi uap ditunjukkan pada gambar 2.2, terdiri dari kompresor, kondensor, katup ekspansi untuk mengatur tekanan dan evaporator. Pada siklus kompresi uap sisi *high pressure* terdapat di kompresor pada *discharge line* atau *delivery line* dan kondensor pada *liquid line*. Untuk *expansion line*, *evaporator*, *suction line* dan *compressor-suction* membentuk tekanan rendah di siklus. Dapat ditunjukkan di sini bahwa, dalam siklus yang sebenarnya tidak seperti di gambar 2.2, perangkat ekspansi terletak sedekat mungkin dengan evaporator untuk meminimalkan kenaikan panas di jalur ekspansi suhu rendah. Berikut adalah proses perhitungan termodinamika :

Process 1-2 *Isentropic compression* :

$$s_2 = s_1, Q = 0.$$

Kerja kompresor

$$\begin{aligned} w &= - \int v dp \\ &= - \int dh \\ &= - (h_2 - h_1) \end{aligned}$$

Process 2-3 *Desuperheating and condensation* :

$$P_k = \text{konstan.}$$

Kalor yang dilepas

$$q_k = h_2 - h_3$$

Process 3-4 *Isenthalpic expansion* :

$$\begin{aligned} h_3 &= h_4 \\ &= h_{f_4} + x_4 (h_1 - h_{f_4}) \end{aligned}$$

$$x_4 = \frac{h_3 - h_{f_4}}{h_1 - h_{f_4}}$$

Process 4-1 *Evaporation*: $P_o = \text{konstan.}$

Effek refrigerasi,

$$q_o = h_1 - h_4$$

Keterangan :

s	= entropi
w	= kerja kompresor
h	= entalphi
h_f	= entalphi kondisi liquid
P_k	= tekanan pada kondensor
q_k	= kalor yang dilepas pada kondesor
q_o	= efek refrigerasi
x	= perbandingan uap dan cair
Q	= perpindahan kalor

2.7.1 Representasi Siklus Kompresi Uap pada Diagram p-h (Tekanan-Enthalpy)

Perlu diketahui bahwa dua proses siklus pada berada pada tekanan konstan dan entalpi konstan. Oleh karena itu, dirasa sesuai untuk merepresentasikan siklus kompresi uap dengan diagram tekanan-entalpi (p-h) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Karena itu, meskipun proses keempat adalah proses isentropik, diagram p-h masih ditemukan sesuai dikarenakan *work* yang didapat dipengaruhi oleh peningkatan entalpi.

Temperatur kondensasi (t_k) dan temperatur evaporator (t_o), dipengaruhi oleh tekanan jenuh p_k dan p_o , atau bisa disebut juga *saturated discharge temperature* dan *saturated suction temperature*. Namun, actual discharge temperature dari kompresor adalah t_2 .

Gambar 2.3 juga menunjukkan garis-garis temperatur konstan di dalam daerah *subcool* dan daerah *superheated* bersama dengan garis volume konstan. Perlu diketahui bahwa garis temperatur konstan pada *subcool liquid* dan daerah *expansion line* memiliki garis yang vertikal seperti entalpi pada fase cair dan pada gas ideal memiliki persamaan dari temperatur dan tidak tergantung pada tekanan.

Perhitungan lebih lanjut dari siklus dapat dilakukan sebagai berikut :

a. Kalor yang dilepas,

$$\begin{aligned} q_k &= q_o + w \\ &= h_2 + h_3 \end{aligned}$$

b. COP untuk pendinginan,

$$E_c = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

c. COP untuk pemanasan,

$$E_h = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

d. Laju aliran refrigeran,

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{\text{kapasitas refrigerasi}}{\text{efek refrigerasi per satuan massa}} \\ &= \frac{\dot{Q}_o}{q_o} \end{aligned}$$

e. Daya yang dibutuhkan,

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \dot{m}w \\ &= \dot{m}(h_2 - h_1) \end{aligned}$$

f. Kalor yang dilepas persatuan waktu,

$$\begin{aligned} \dot{Q}_k &= \dot{m}q_k \\ &= \dot{m}(h_2 - h_3) \end{aligned}$$

Keterangan :

q_k = Kalor yang dilepas

q_o = efek refrigerasi

\dot{Q}_k = Kalor yang dilepas persatuan waktu

\dot{Q}_o = Kapasitas refrigerasi

h = entalphi

w = kerja kompressor

E_c = *coefficient of performance* (COP)
pendinginan

- E_h = *coefficient of performance* (COP) pemanasan
- \dot{m} = laju aliran refrigerasi
- \dot{W} = Daya kompressor

Untuk mencari nilai dari temperatur *isentropic discharge* dapat dicari menggunakan tiga metode yaitu :

- a. Menggunakan grafik p-h diagram dengan menggambarkan garis *isentropic* dari titik 1 ke P_k = garis tekanan konstan pada kondensor secara berulang sampai t_2 di dapat dengan ketentuan $s_1 = s_2$.
- b. Menggunakan perhitungan dari *saturation properties* dan *specific heat of vapour*.

$$s_1 = s_2 = s'_2 + C_p \ln \frac{T_2}{T'_2}$$

dimana,

$$s'_2 = s_{g_2} \text{ dan } T'_2 = T_k$$

Keterangan :

s_1 = entropi pada *suction line*

s_2 = entropi pada *discharge line*

s'_2 = entropi tipe gas pada *liquid line*

C_p = *Constant pressure specific heat of saturated vapour refrigerant*

T_2 = temperatur pada *discharge line*

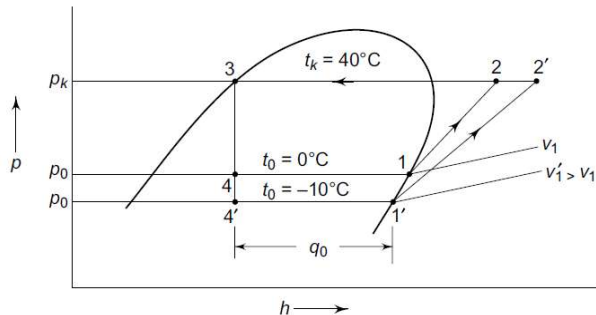
T'_2 = temperatur pada *liquid line*

- c. Menggunakan tabel *superheat* dan interpolasi untuk tingkat superheat ($T_2 - T'_2$) dan menyesuaikan dengan perbedaan entropi ($S_2 - S'_2$) yang diketahui.

2.8 Efek dari Perubahan Tekanan Evaporator

Pertimbangkan siklus saturasi sederhana 1-2-3-4 dengan R-134a sebagai zat pendingin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 dengan terjadinya penurunan tekanan pada evaporator menghasilkan :

1. Terjadi penurunan pada efek refrigerasi.
2. Meningkatnya kerja kompresor dikarenakan naiknya rasio tekanan.
3. Meningkatnya nilai entropy dari $s_1 = s_2$ ke $s_{1'} = s_{2'}$.
4. Terjadi penurunan temperatur pada evaporator.

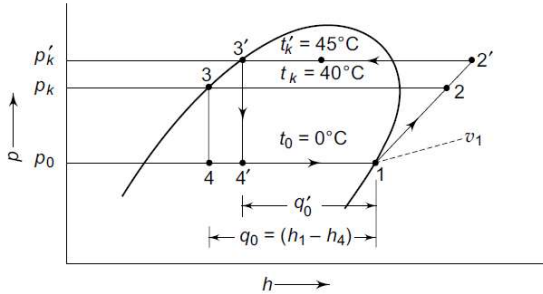


Gambar 2.7 Efek dari perubahan tekanan evaporator
(Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)

2.9 Efek dari Perubahan Tekanan Kondensor

Peningkatan tekanan kondensor pada gambar 2.8, juga menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan perubahan tekanan pada evaporator seperti :

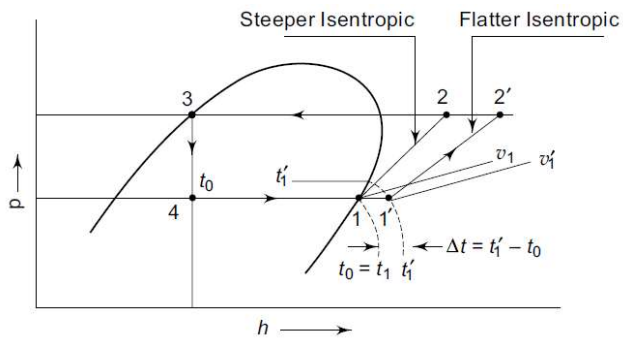
1. Penurunan nilai efek refrigerasi
2. Temperatur pada kondensor meningkat
3. Kenaikkan kerja spesifik



Gambar 2.8 Efek dari perubahan tekanan kondensor (Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)

2.10 Efek dari *Suction Vapour Superheat*

Superheating pada saat di suction line disarankan dalam pelaksanaannya, di karena memastikan penguapan cairan yang keluar dari evaporator sebelum memasuki kompresor. Sebagian besar sistem pendingin dan AC, tingkat kepanasan berfungsi sebagai sarana untuk mengatur kapasitas pada katup ekspansi. Itu juga telah terlihat bahwa untuk beberapa refrigeran seperti R-134a, Isobutane, dan lain-lain, maksimum COP diperoleh dengan *superheating* dari *suction vapour*.



Gambar 2.9 Efek dari *suction vapour superheat* (Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)

Dapat dilihat dari Gambar 2.9, bahwa efek dari *superheating* pada fase uap berasal dari $t_1 = t_0$ ke t'_1 adalah sebagai berikut:

- Meningkatnya volume spesifik pada *suction vapour* dari v_1 ke v'_1 .
- Meningkatnya efek refrigerasi dari $(h_1 - h_4)$ ke $(h'_1 - h_4)$.
- Meningkatnya kerja spesifik dari $(h_2 - h_1)$ ke $(h'_2 - h'_1)$.

Perlu diketahui nilai pada $(h'_2 - h'_1)$ lebih besar dari $(h_2 - h_1)$. Ini dikarenakan temperatur awal t'_1 lebih besar daripada t_1 dan nilai *work* nya, walaupun rasio tekanannya sama pada satu garis, sebagai contoh menggunakan gas ideal sebagai permisalnya

$$w = \frac{\gamma RT_1}{\gamma - 1} \left[\frac{p_2^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{p_1^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} - 1 \right] = f \left(T_1, \frac{p_2}{p_1}, \gamma \right)$$

Pada persamaan ini diketahui temperatur awal adalah T_1 , rasio tekanan adalah $\frac{p_2}{p_1}$ dan eksponen adalah γ . Demikian kita melihat adanya kenaikan pada temperatur awal. Itu sebabnya garis isentropik pada p-h diagram menjadi lebih rata pada suhu yang lebih tinggi dikarenakan semakin jauh dari garis *saturated vapour*.

Peningkatan pada volume spesifik dapat mengurangi kapasitas refrigerasi. Sebaliknya, peningkatan efek refrigerasi akan meningkatkan kapasitas refrigerasi. Keuntungan dari efek *superheating* secara teori menurunkan kapasitas di sistem ammonia dan meningkatkan pada sistem Freon 12. Perbandingan kapasitas menggunakan *superheating* Q'_0 dan tanpa *superheating* bisa ditulis sebagai berikut,

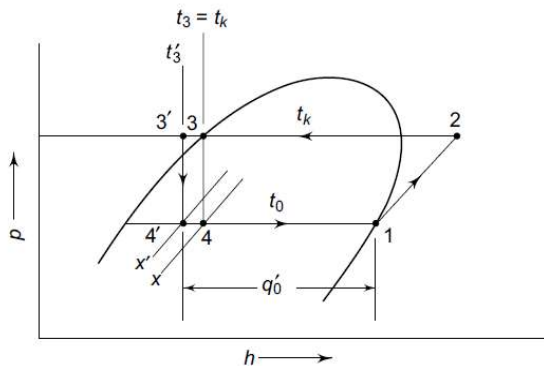
$$\frac{Q'_0}{Q_0} = \frac{h'_1 - h_4}{h_1 - h_4} \cdot \frac{v_1}{v'_1}$$

Demikian pula, untuk kerja persatuan refrigerasi dapat dilihat bahwa ada dua pengaruh kontradiktif yaitu, peningkatan efek refrigerasi menurunkan laju aliran massa yang dibutuhkan dan juga *work* dan kenaikan *specific work* dikarenakan kenaikan temperatur pada *suction temperature*. Jadinya kerja persatuan refrigerasi bisa meningkat atau menurun tergantung dari jenis refrigeran dan juga dari temperatur yang dioperasikan

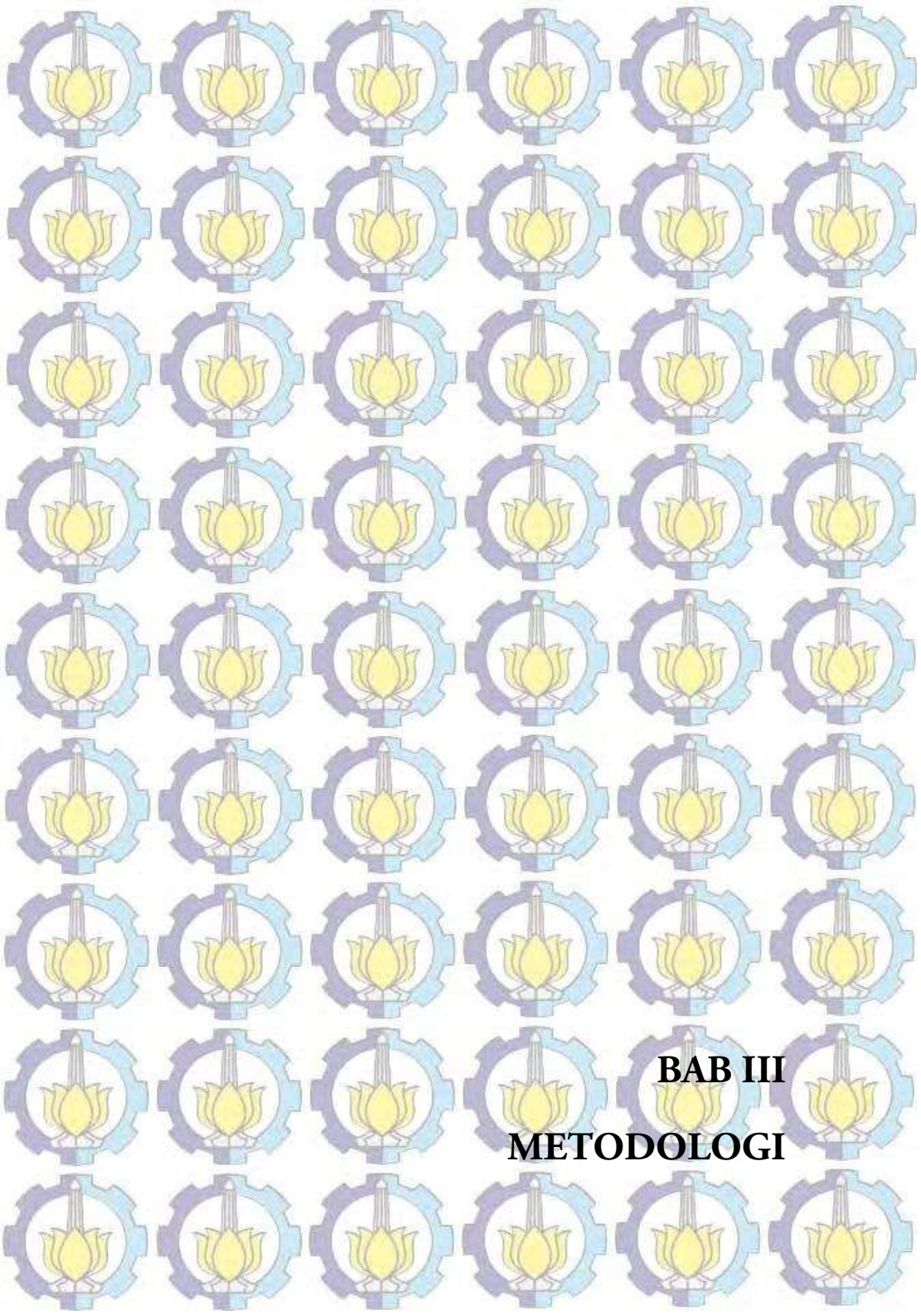
2.11 Efek dari *Liquid Subcooling*

Disarankan untuk mengurangi temperature pencairan refrigeran beberapa derajat pada saat akan masuk kondensor, dibebberapa kondensor dibuat *subcooling* diantara kondensor dan katup ekspansi. Efek dari *subcooling* pada fase cair terlihat dari $t_3 = t_k$ ke t'_3 pada gambar 2.10. Akan terlihat bahwa *subcooling* mengurangi efek *flashing* cairan pada katup ekspansi dan meningkatkan efek refrigerasi.

Secara umum, fungsi kondensor serta subcooler bisa dikombinasikan dalam kondensor itu sendiri dengan sedikit memperbesar ukuran kondensor.



Gambar 2.10 Efek dari *liquid subcooling*
(Refrigeration and Air-Conditioning, C P Arora)



BAB III
METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1 Tahap Penelitian

Pada tahap penelitian tugas akhir ini membahas mengenai “Desain Pendinginan *Strawberry* “ dengan beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu :

Tahap pertama meninjau permasalahan yang ada pada lingkungan dengan mencari solusi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan disiplin ilmu yang telah dipahami, lalu dari permasalahan tersebut dirumuskan menjadi rumusan masalah, kemudian dari rumusan masalah dapat ditentukan tujuan dan manfaat yang akan didapatkan dari hasil penelitian.

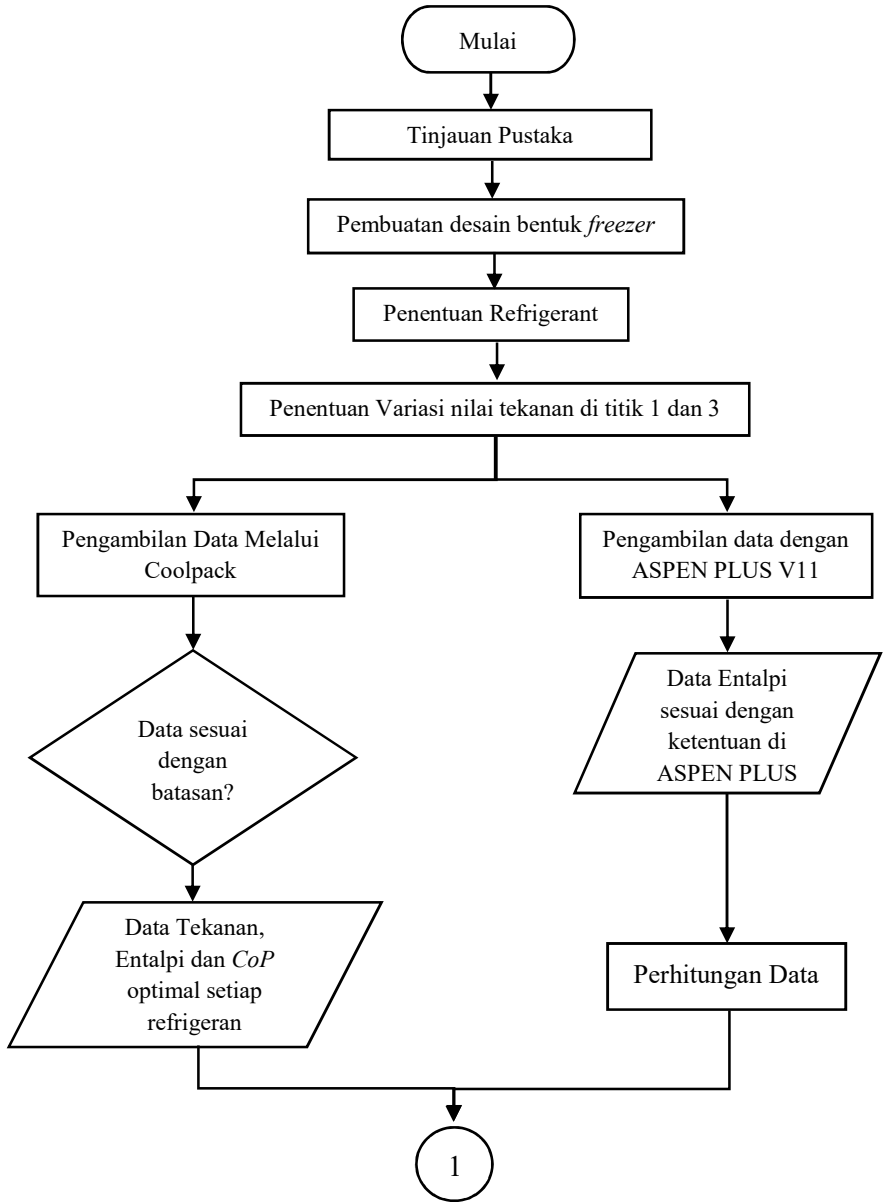
Tahap kedua yaitu dengan latar belakang, rumusan masalah, tujuan dan manfaat dari penelitian tersebut, diperlukan materi penunjang penelitian maka dilakukan studi pustaka dari berbagai sumber, baik dari buku maupun dari hasil penelitian sebelumnya.

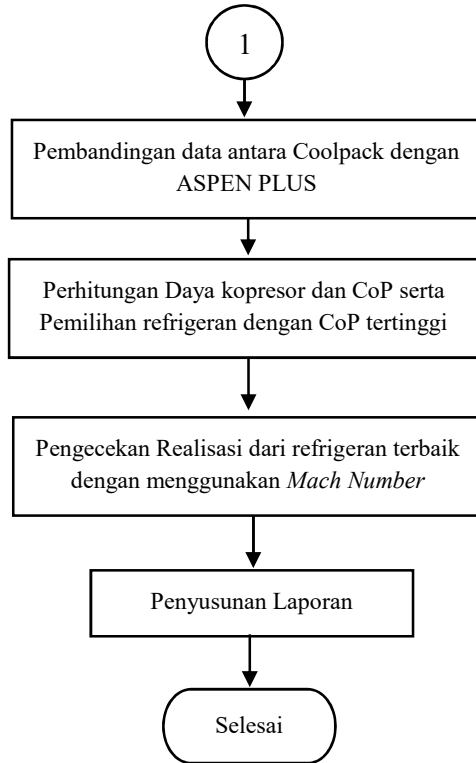
Tahap ketiga melakukan pengambilan data yang diperlukan. Berdasarkan hasil penelitian, data yang dibutuhkan berupa temperatur pendinginan, temperatur udara, variasi tekanan evaporator dan variasi tekanan kondensor.

Tahap keempat adalah mengolah data yang telah didapat. Data tersebut digunakan untuk mencari nilai *Coefficient of Performance* pendinginan dan mengetahui refrigerant mana yang paling bagus digunakan.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah diagram alir penelitian yang telah dilakukan :





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

3.3 Penjelasan Diagram Alir

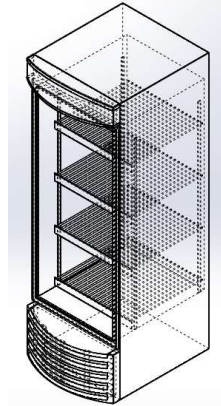
Berikut penjelasan dari diagram alir proses penyelesaian tugas akhir di sub bab sebelumnya

3.3.1 Tinjauan Pustaka

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah tinjauan pustaka mengenai topik yang telah dipilih guna menunjang dasar teori yang nantinya akan digunakan dalam pengerjaan serta perhitungan. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber antara lain buku, jurnal ilmiah, tugas akhir yang berkaitan dan media sosial internet.

3.3.2 Pembuatan Desain Bentuk *Freezer*

Langkah kedua adalah membuat desain bentuk dari *freezer* untuk stroberi. Gambar dari *freezer* bisa dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Desain *freezer*

Berikut merupakan detail desain dari *freezer* berupa dimensi, yaitu :

1. Dimensi luar *freezer*
 - a. Panjang : 630 mm
 - b. Lebar : 600 mm
 - c. Tinggi : 850 mm
2. Dimensi dalam *freezer*
 - a. Panjang : 600 mm
 - b. Lebar : 570 mm
 - c. Tinggi : 840 mm

Dari desain diatas, diharapkan *freezer* dapat menampung 7 keranjang buah dengan ukuran 40x20x30 cm. Setiap keranjangnya diperkirakan mampu menampung stroberi sebanyak 4 kg. Sehingga total maksimal stroberi yang bisa masuk dalam keranjang sebanyak 28 kg. Temperatur awal

stroberi yang akan dilakukan proses *freezing* memiliki temperatur kamar (diperkirakan sekitar 25°C). Waktu pendinginan stroberi yang diperlukan adalah 4 jam.

Dari desain freezer yang dibuat, diharapkan mendapat nilai kapasitas refrigerasi dan daya kompresi yang dibutuhkan. Kapasitas refrigerasi yang dibutuhkan oleh freezer dapat dicari melalui jumlah kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan stroberi. Sebelum mencari kalor yang dibutuhkan, dibutuhkan nilai kalor sensibel dan kalor laten dari stroberi.

$$\dot{Q} = \Sigma Q_{laten} + \Sigma Q_{sensibel}$$
$$\dot{Q} = \frac{Q_{laten} + Q_{cair} + Q_{beku}}{t}$$

Untuk mencari nilai kalor sensibel dari stroberi, dibutuhkan nilai massa stroberi, kalor spesifik stroberi, penurunan temperatur dan waktu pendinginan. Kalor sensibel yang dicari dibagi menjadi kalor dengan temperatur awal stroberi menuju ke titik beku air dan dari temperatur beku hingga ke temperatur yang diinginkan. Sehingga dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_{cair} = m \cdot c_{p,segar} \cdot \Delta T_{cair-bek}$$
$$Q_{beku} = m \cdot c_{p,beku} \cdot \Delta T_{pembekuan}$$

Sementara nilai kalor laten yang dibutuhkan untuk proses pembekuan stroberi dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_{laten} = m \cdot H_{laten}$$

Berikut nilai kalor spesifik ($c_{p,segar}$, $c_{p,beku}$) dan kalor jenis laten (H_{latent}) dari buah stroberi dengan kadar air $a = 0,9$ adalah sebagai berikut :

$$C_{p,segar} = 3,35a + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,segar} = (3,35 \cdot 0,9) + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,segar} = 3,855 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,beku} = 1,26a + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,beku} = (1,26 \cdot 0,9) + 0,84 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$C_{p,beku} = 1,974 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

$$H_{latent} = 334a \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$H_{latent} = 334 \cdot 0,9 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

$$H_{latent} = 300,6 \left(\frac{kJ}{kg} \right)$$

3.3.3 Penentuan Refrigeran

Langkah ketiga adalah penentuan refrigeran yang akan digunakan. Berikut adalah daftar refrigeran murni yang ada di aplikasi *CoolPack*. Diantaranya :

1. R11
3. R12
4. R13

5. R14
6. R21
7. R22
8. R23
9. R113
10. R114
11. R123
12. R134a
13. R152a
14. RC318
15. R717/NH₃
16. R1270/Propena
17. R290/Propana
18. R50 /metana
19. R1150/Etena
20. R170/Etana
21. R600/Butana
22. R600a/Isobutana

Untuk menentukan refrigeran yang akan digunakan, hal yang perlu dilakukan sebelumnya adalah menentukan parameter dari pemilihan refrigeran. Diantaranya temperatur kondensor, temperatur evaporator, faktor *safety* serta faktor ketersediaan dari refrigeran yang akan digunakan.

Batas temperatur pada tugas akhir ini didasarkan pada kebutuhan, yaitu temperatur pendinginan untuk proses pendinginan awal dari pembekuan kering sebesar -40C. Agar efek refrigeransi dari refrigeran bisa mengalir ke udara didalam *freezer*, maka temperatur evaporator harus lebih dingin dibandingkan temperatur ruangan *freezer*. Diasumsikan temperatur evaporator yang digunakan sebesar -45°C. Artinya refrigeran yang digunakan harus memiliki suhu minimal dibawah -45°C agar refrigeran bisa mencapai suhu tersebut.

Selanjutnya, untuk temperatur kondensor disesuaikan dengan temperatur udara bebas karena proses pendinginan refrigeran di kondensor menggunakan media pendingin udara. Menurut BMKG, temperatur maksimal di kota Surabaya sebesar 35°C. Agar kalor dari refrigeran yang ada pada kondensor bisa mengalir ke udara bebas, maka temperatur kondensor harus lebih besar dibandingkan temperatur udara. Diasumsikan temperatur kondensor yang digunakan sebesar 40°C.

Refrigeran pada tabel 4.1 adalah refrigeran yang tidak memenuhi batasan temperatur. Pada R-113 dan RC318 tidak memenuhi syarat temperatur minimal yang harus mencapai -45°C. R-13, R-23, R-1150 dan R-170 tidak memenuhi syarat temperatur kritikal yang harus mencapai 40°C. Serta R-14 dan R-50 tidak memenuhi kedua syarat temperatur kondensor maupun temperatur evaporator.

Tabel 3.1 Daftar Refrigeran yang tidak memenuhi batasan temperatur

Refrigerant	Minimal Temperatur	Temperatur kritikal
	°C	°C
R-13	-181	28,8
R-14	-184,9	-45,7
R-23	-100	25,9
R-113	-35	214,1
RC318	-41,4	115,3
R-50 /metana	-182,20	-82,59
R-1150/Etena	-169	9
R-170/Etana	-183	32,73

Selanjutnya, refrigeran yang digunakan haruslah aman. Jika refrigeran itu beracun dan bisa merusak kesehatan manusia, maka akan berbahaya jika terjadi kebocoran. *Maintenance* yang akan dilakukan juga lebih sulit karena memerlukan penanganan khusus pada refrigeran tersebut. Jika refrigeran itu mudah terbakar, maka akan berbahaya jika terjadi ledakan dari refrigeran itu dan membahayakan keselamatan pengguna. Maka dari itu faktor keamanan juga menjadi perhatian dalam membuat desain *freezer*. Standar keamanan dari refrigeran sesuai dengan *ASHRAE Standard 34*. Refrigeran yang tidak sesuai dengan faktor keamanan diantaranya R-290, R-1270, R-600, R-600a dan R-717. Kelima refrigeran ini memiliki tingkat *flamibility* atau *toxicity* yang tinggi sehingga berbahaya bagi penggunaannya.

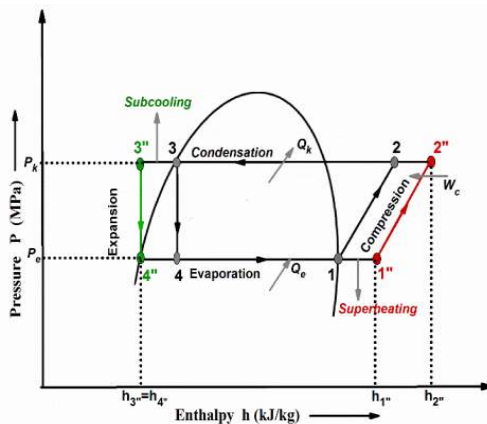
Refrigeran jenis R-11, R-12, R-113 dan R-114 termasuk refrigeran yang sudah dilarang beredar berdasarkan Keputusan Menteri Perindustrian dan Perdagangan RI nomor 110/MPP/Kep/1998. Sehingga R-11, R-12, R-113, dan R-114 sudah tidak beredar di pasaran. Selain itu, refrigeran R-152a sangat sulit dicari di pasaran Indonesia. R-152a.

Adapun faktor lain yang sesuai dengan batasan masalah adalah tekanan masuk dan keluar evaporator (pada kondisi temperatur -45°C) harus di atas 0,1 bar. Menurut tabel *saturation* dari R-123, pada temperatur -45°C memiliki tekanan pada kondisi *saturation* sebesar 0,027 bar. R-21 juga memiliki tekanan pada kondisi *saturation* sebesar 0,069 bar. Sehingga refrigeran jenis R-123 dan R-21 tidak bisa digunakan dalam penelitian ini.

Setelah menentukan temperatur kondensor dan evaporator, selanjutnya kita tentukan batas tekanan evaporator dan tekanan kondensor melalui *saturation table* dari masing-

masing refrigeran. Untuk melihat *saturation table*, bisa dicek menggunakan aplikasi *Coolpack*.

Kita bisa lihat pada *saturation table* berapa tekanan pada temperatur -45°C dan 40°C . Jika dilihat dari gambar 3.2, nilai tekanan pada temperatur -45°C ada di titik 1 sementara nilai tekanan pada temperatur 40°C ada di titik 3. Sementara kita ingin titik 3 berada pada kondisi subcooling dan titik 1 berada pada kondisi superheating. Karena hanya variabel tekanan yang dapat divariasikan, maka tekanan di titik 3 harus lebih tinggi dibandingkan tekanan titik 3 pada keadaan *saturated*, sementara tekanan di titik 1 harus lebih rendah dibandingkan tekanan di titik 1 pada keadaan *saturated*. Sehingga didapatkan titik 1'' dan titik 3'' pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram P-h dari saturation dan standard vapor compression

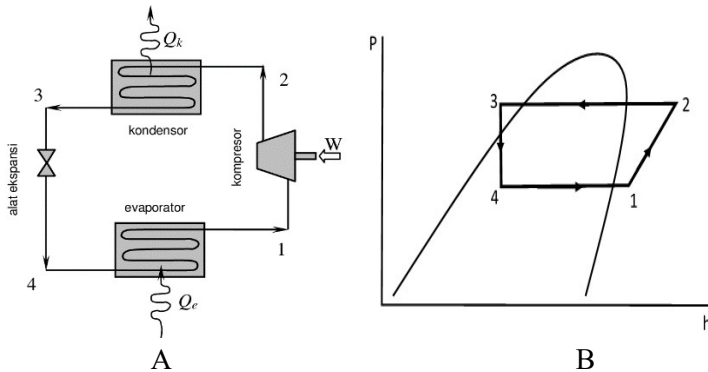
Dengan adanya faktor-faktor pemilihan refrigeran yang sudah dijelaskan sebelumnya, dibuatlah tabel 3.2 tentang pemilihan refrigeran. Hasilnya refrigeran yang bisa digunakan adalah R-22 dan R-134a.

Tabel 3.2 Pemilihan Refrigeran yang sesuai

Refrigeran	Bisa/ Tidak	Keterangan
R-11	x	Sudah dilarang (PerMen perindustrian no 110/MPP/Kep/1998)
R-12	x	Sudah dilarang (PerMen perindustrian no 110/MPP/Kep/1998)
R-13	x	Temperatur kritis tidak bisa mencapai 40°C
R-14	x	Temperatur minimal dan kritis tidak sesuai
R-21	x	Tekanan di evaporator terlalu kecil
R-22	v	Bisa digunakan
R-23	x	Temperatur kritis tidak bisa mencapai 40°C
R-113	x	Temperatur minimal tidak bisa mencapai -45°C
R-114	x	Sudah dilarang (PerMen perindustrian no 110/MPP/Kep/1998)
R-123	x	Tekanan di evaporator terlalu kecil
R-134a	v	Bisa digunakan
R-152a	x	Sulit dicari dalam pasar Indonesia
RC318	x	Temperatur minimal tidak bisa mencapai -45°C
R-717	x	Masuk kategori High Toxicity
R-1270	x	Masuk kategori High Flamibility
R-290	x	Masuk kategori High Flamibility
R-50	x	Temperatur minimal dan kritis tidak sesuai
R-1150	x	Temperatur kritis tidak bisa mencapai 40°C
R-170	x	Temperatur kritis tidak bisa mencapai 40°C
R-600	x	Masuk kategori High Flamibility
R-600a	x	Masuk kategori High Flamibility

3.3.4 Menentukan Variasi Nilai Tekanan di Titik 1 dan 3

Sebelum melakukan pengambilan data pada aplikasi *Coolpack*, perlu dibuat variasi nilai tekanan terlebih dahulu mengingat temperatur kondensor dan evaporator sudah ditetapkan.



Gambar 3.4 (A) Siklus kompresi uap dan (B) P-h diagram dari siklus kompresi uap

Dilihat dari siklus kompresi uap pada gambar 3.4, temperatur yang sudah ditetapkan adalah temperatur minimal evaporator sebesar -45°C dan temperatur minimal kondensor sebesar 40°C . Selanjutnya melalui P-h diagram dari siklus kompresi uap, perlu menentukan nilai di setiap titik-titik kondisi.

Untuk menentukan titik 1 dibutuhkan nilai temperatur dan tekanan. Temperatur yang diinginkan sebesar -45°C sementara tekanan pada titik 1 akan divariasikan. Tetapi titik 1 harus berada pada kondisi *superheated* agar refrigeran yang akan masuk ke kompresor berada pada kondisi uap jenuh. Maka nilai tekanan pada titik 1 harus lebih kecil dibandingkan tekanan *saturation* refrigeran pada temperatur -45°C .

Untuk menentukan titik 3 dibutuhkan nilai temperatur dan tekanan. Temperatur yang diinginkan sebesar 40°C sementara tekanan pada titik 3 akan divariasikan. Titik 3 harus berada pada kondisi *subcool* sehingga refrigeran yang masuk ke alat ekspansi dalam kondisi cair. Maka tekanan pada titik 3 harus lebih besar dibandingkan dengan tekanan *saturation* refrigeran pada temperatur 40°C.

Dengan didapatkannya titik 1 dan titik 3, kita bisa menentukan titik 2 dan titik 4. Titik 2 diambil dari perpotongan antara garis entropi konstan dari titik 1 dengan garis tekanan konstan pada titik 3. Dan titik 4 diambil dari perpotongan antara garis entalpi konstan dari titik 3 dan garis tekanan konstan dari titik 1. Dengan didapatkannya data pada setiap titik dari P-h diagram siklus kompresi uap, selanjutnya data tersebut bisa diinput menggunakan aplikasi *CoolPack*.

3.3.5 Pengambilan Data

Langkah kelima adalah pengambilan data dari dua aplikasi, yaitu *CoolPack* dan ASPEN PLUS V11. Data yang didapat dari *CoolPack* berupa nilai entropi di titik 1 dan nilai entalpi pada semua titik kondisi (titik 1 sampai titik 4). Kemudian dari data tersebut, didapatkan nilai efek refrigeransi (q_0), kerja kompresi (w) dan *coefficient of performance* (CoP). Didapatkanlah performa terbaik dari tiap refrigeran yang sudah dipilih dengan memilih nilai CoP tertinggi dari setiap refrigeran.

Selanjutnya data refrigeran terbaik tadi akan diinput dalam aplikasi ASPEN PLUS. Input data yang digunakan adalah temperatur kondensor, temperatur evaporator, tekanan pada kondisi 1 serta tekanan pada kondisi 3 dari sistem kompresi uap. Setelah itu didapatkan nilai entalpi dari semua titik kondisi dan didapatkanlah nilai CoP dari setiap refrigeran dari aplikasi ASPEN PLUS.

3.3.6 Perbandingan Data antara Coolpack dengan ASPEN PLUS

Langkah keenam adalah perbandingan data antara data dari *Coolpack* dengan data dari ASPEN PLUS. Kemudian dari kedua data ini dipilih refrigeran mana yang mempunyai nilai *CoP* tertinggi diantara data di *Coolpack* dengan data dari ASPEN PLUS.

3.3.7 Perhitungan Daya kompresor, CoP, dan Pemilihan Refrigeran Terbaik

Langkah ketujuh adalah pemilihan refrigeran dengan performa yang terbaik. Setelah itu dari data refrigeran terbaik itu didapatkan nilai Daya kompresor yang dibutuhkan.

3.3.8 Pengecekan Realisasi dari Refrigeran Terbaik dengan menggunakan Mach Number

Langkah kedelapan adalah melakukan pengecekan apakah hasil refrigeran yang sudah dipilih melalui perhitungan dapat direalisasikan dalam sistem pendinginan. Untuk mengetahuinya, dilakukan perhitungan *mach number* dengan perbandingan antara kecepatan fluida masuk dan keluar kompresor dengan kecepatan suara di udara bebas.

$$M = \frac{v}{c}$$

Keterangan :

M = *Mach number*

v = kecepatan fluida yang masuk ke dalam kompresor

c = kecepatan suara di udara

Kecepatan fluida dapat dicari menggunakan rumus laju aliran massa. Untuk luas aliran disesuaikan dengan diameter pipa yang akan digunakan. Freezer memiliki diameter *suction* kompresor sebesar 3/8 inchi (0,9525 cm) dan diameter *discharge* sebesar 1/4 inchi (0,635 cm).

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A$$

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot \frac{1}{4} \pi d^2$$

Nilai kecepatan suara di udara adalah sebagai berikut :

$$c = \sqrt{k \cdot R \cdot T}$$

Keterangan :

k = konstanta *boltzman*, pada udara sebesar 1,4

R = konstanta gas universal, sebesar 287 Nm/(kg.K)

T = temperatur

Dengan temperatur udara bebas sebesar 35°C (308 K), maka nilai kecepatan suara di udara adalah sebagai berikut :

$$c = \sqrt{k \cdot R \cdot T}$$

$$c = \sqrt{1,4 \cdot 287 \frac{N \cdot m}{kg \cdot s^2} \cdot 308 K \cdot \frac{kg \cdot m}{N \cdot s^2}}$$

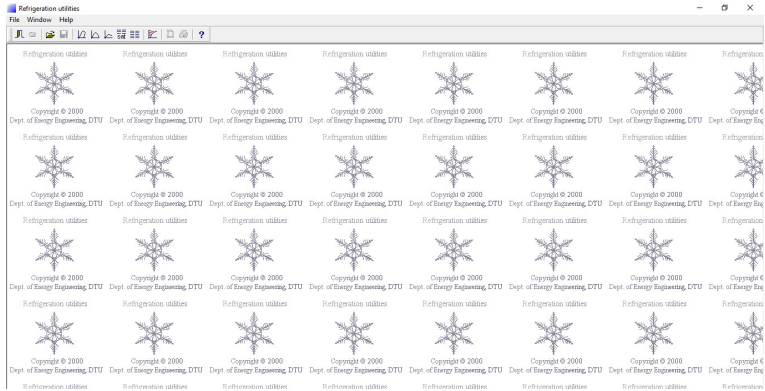
$$c = 351,8 \text{ m/s}$$

3.3.9 Penyusunan Laporan


Setelah semua rangkaian penelitian, pengambilan data, dan perhitungan telah dilakukan, proses terakhir adalah menyusun keseluruhan kegiatan tersebut dalam bentuk laporan lengkap dengan teori penunjang dan kesimpulan yang didapat dari penelitian tugas akhir ini.

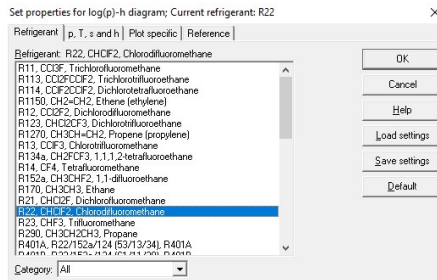
3.4 Prosedur Pengambilan Data di Coolpack

1. Siapkan data temperatur dan tekanan yang akan diinput dalam aplikasi *Coolpack*
2. Buka aplikasi *CoolPack* lalu pilih “*Refrigeration Utilities*”. Lalu akan muncul tampilan pada gambar 3.5.



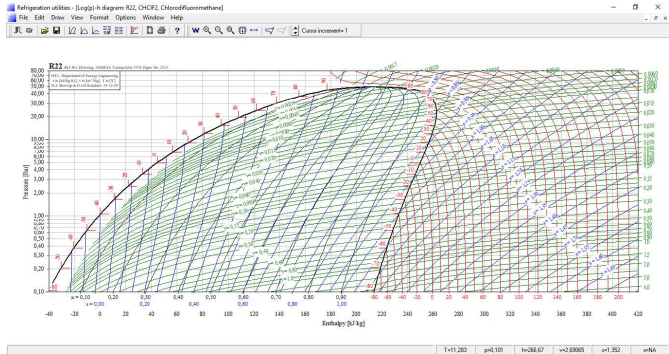
Gambar 3.5 Tampilan layar “Refrigeration utilities”

3. Pilih “*log(p)-h diagram*” pada ikon bagian atas dengan gambar , lalu muncul tampilan pada gambar 3.6 dan pilih refrigeran yang akan digunakan.




Gambar 3.6 Tampilan *set properties* pada diagram *log(p)-h*

4. Atur nilai *p*, *T*, *s* dan *h* yang akan ditampilkan pada tab “*p, T, s and h*”. Kemudian pada tab “*reference*”, gunakan pilihan *Default*. Setelah selesai klik OK dan muncul tampilan diagram *log(p)-h*.



Gambar 3.7 Tampilan diagram log(p)-h

5. Pilih “cycles” pada bagian ikon di bagian atas dengan gambar , kemudian muncul layar “cycle input” seperti pada gambar 3.8.

Cycle input ×

Select cycle type:

One stage Two stage, closed intercooler

Two stage, open intercooler Two stage, open intercooler, load at intermediate pressure

Cycle name: Draw cycle

Values:

Evaporating temperature: 0,00 °C	Condensing temperature: 0,00 °C
Superheat: 0,00 K	Subcooling: 0,00 K
Dp evaporator: 0,00 Bar	Dp condenser: 0,00 Bar
Dp suction line: 0,00 Bar	Dp liquid line: 0,00 Bar
Dp discharge line: 0,00 Bar	
Isentropic efficiency (0-1): 1,00 <input type="text"/> Q loss...	

Cycle creation

Create new

Calculated:

Qe [kJ/kg]: 10000.000

Qc [kJ/kg]: 10000.00

COP: 2.34

W [kJ/kg]: 10000.00

W high [kW]: 10000.00


(m high)/(m low): 0.00000000

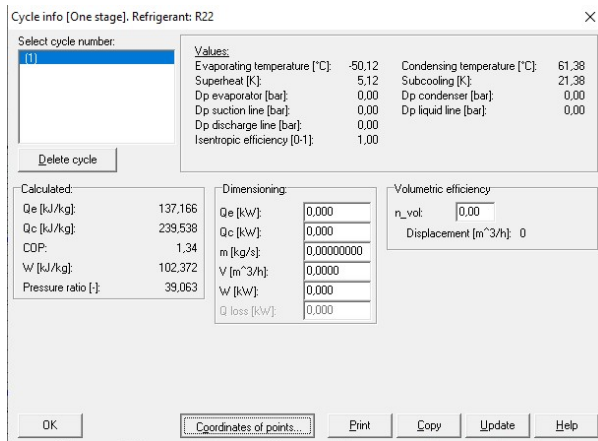
m low [kg/s]: 0.00000000

m high [kg/s]: 0.00000000

Gambar 3.8 Tampilan “cycle input”

6. Ganti satuan pada “superheat” dan “subcooling” dengan °C (celcius) dan ganti satuan pada “evaporating temperature” dan “condensing temperature” dengan bar.

7. Masukkan nilai temperatur evaporator pada “*superheat*” dan temperatur kondensor pada “*subcooling*”
8. Masukkan nilai tekanan tekanan evaporator pada “*evaporating temperature*” dan tekanan kondensor pada “*condensing temperature*”
9. Klik “*draw cycle*”. Siklus kompresi uap akan digambarkan secara otomatis pada diagram log(p)-h.
10. Untuk melihat hasil data dari siklus kompresi uap, pilih “*show info*” pada ikon bagian atas dengan gambar  dan muncul tampilan seperti pada gambar 3.9. Untuk melihat hasil data pada setiap titik dari siklus kompresi uap, klik “*coordinates of points...*” sehingga muncul seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.9 Informasi berupa data dari siklus kompresi uap

Values at points in cycle

Values at points 1-6,15 for the selected one stage cycle

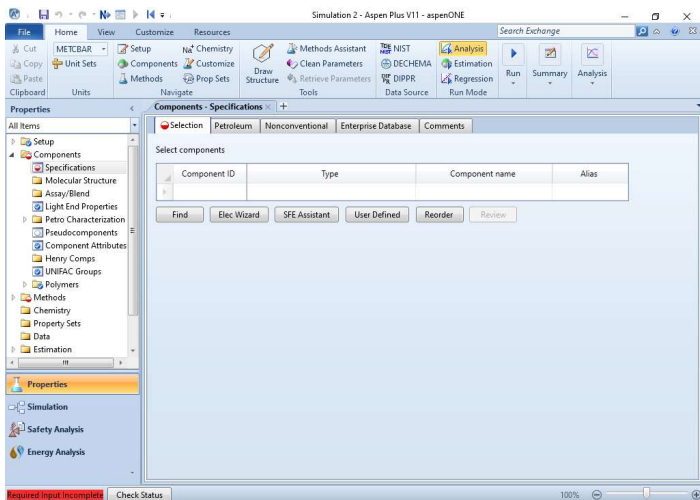
Point	T	P	v	h	s
	[°C]	[bar]	[m ³ /kg]	[kJ/kg]	[kJ/(kg K)]
1	-45,000	0,640	0,334623	386,840	1,8635
2	133,776	25,000	0,013550	489,212	1,8635
3	133,776	25,000	0,013550	489,212	1,8635
4	40,000	25,000	N/A	249,674	N/A
5	N/A	0,640	N/A	249,674	N/A
6	-45,000	0,640	0,334621	386,840	1,8635
15	N/A	25,000	N/A	249,674	N/A

OK Print Copy Help

Gambar 3.10 Informasi nilai tiap titik siklus kompresi uap

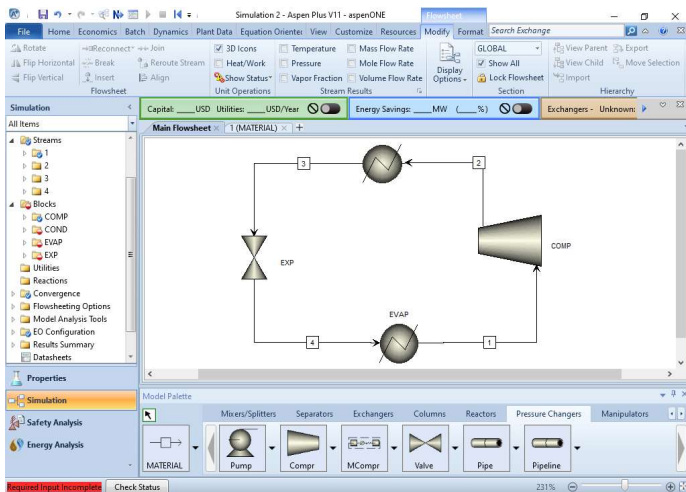
3.5 Prosedur Pengambilan data di ASPEN PLUS V11

1. Siapkan data temperatur dan tekanan yang akan diinput pada aplikasi ASPEN PLUS V11
2. Buka ASPEN PLUS V11, pilih “New” lalu pilih “Blank simulation”. Selanjutnya akan muncul tampilan *properties* seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Tampilan *properties* dari ASPEN PLUS

3. Pada *Components* > *Specification*, pilih refrigeran yang akan digunakan dengan klik find dan cari refrigeran tersebut. Klik “Add to selected compound”.
4. Klik *methods*, lalu pada *Base Method* pilih “PENG-ROB”. Pengisian pada *properties* telah selesai dan kita bisa masuk ke bagian *simulation*. Tampilan pada bagian *simulation* bisa dilihat pada gambar 3.10.
5. Buatlah siklus kompresi uap satu tingkat dengan menggunakan *model palette* yg ada di bagian bawah. Gunakan *Heater* pada bagian *Exchangers* untuk membuat evaporator dan kondensor. Kemudian gunakan *compressor* dan *valve* (yang nantinya sebagai expansion device) pada *Pressure Changers*. Untuk membuat garis aliran gunakan *MATERIAL*. Berilah nama pada masing-masing aliran dan komponen untuk mempermudah seperti pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Tampilan *simulation* dan siklus kompresi uap

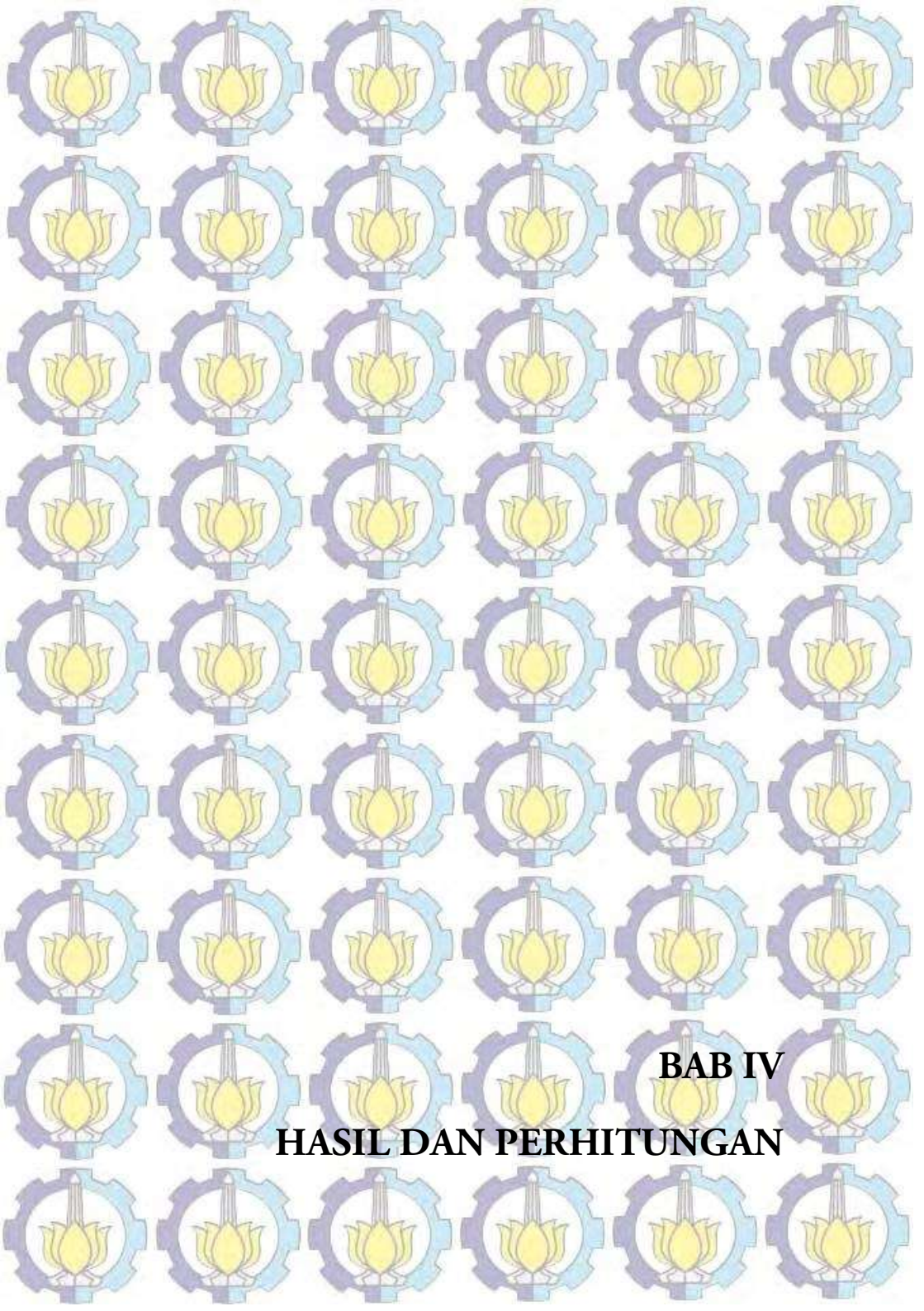
6. Pilih *Streams* > “1”, pada “*flash type*” pilih temperatur dan *pressure*. Kemudian masukkan data temperatur sesuai dengan data temperatur keluar dari evaporator. Dan pada *pressure* masukan nilai tekanan pada titik 1 (P₁) dari data refrigeran.
7. Pada *total flow basis* pilih *Mass*, kemudian pada *total flow rate* tulis 1 dengan satuan kg/s. Kemudian pada tab *composition*, pilih opsi *Mass-Frac*. Masukkan nilai 1 pada komponen yang sudah dipilih.
8. Pilih pada *Blocks* > COMP, pada tipe pilih *isentropic*. Selanjutnya pada *outlet specification* pilih *Discharge pressure* dan masukkan data tekanan pada titik 3 (P₃).
9. Selanjutnya pilih *Blocks* > COND. Pada *flash type*, pilih *temperature* dan *pressure-drop correlation parameter*. Pada *temperature* Masukkan data temperatur kondensor dari data refrigeran dan di *pressure-drop correlation parameter* masukkan nilai 0.
10. Pilih *Blocks* > EVAP, gunakan *flash type* yang sama dengan bagian kondensor. Pada *temperature* Masukkan data temperatur evaporator dari data refrigeran dan di *pressure-drop correlation parameter* masukkan nilai 0.
11. Pilih pada *Blocks* > EXP, pada *outlet pressure* masukkan data tekanan dari P₁ dari data refrigeran.
12. Semua data telah dimasukkan. Pada tab *Home* di bagian atas klik “*Run*”. Kemudian tunggu hingga prosesnya selesai.
13. Untuk pengambilan hasil data dari ASPEN PLUS, klik pada *Streams* > 1 > *Results*. Ubah satuan dari *Mass Enthalpy* menjadi KJ/kg. Kita juga bisa

membandingkan data di kondisi lainnya seperti kondisi 2 dan 4 seperti pada gambar 3.13.

The screenshot shows the 'Results' window in ASPEN PLUS. The window title is '1 (MATERIAL) - Results (Default)'. The 'Status' icon is active. The table below displays various properties for three conditions: 1, 2, and 4. The 'Units' column indicates the units for each property.

Material	Vol.% Curves	Wt. % Curves	Petroleum	Polymers	Solids	Status	Units	1	2	4
Pressure							bar	0,836672	16	0,8
Molar Vapor Fraction								1	1	0,433174
Molar Liquid Fraction								0	0	0,566826
Molar Solid Fraction								0	0	0
Mass Vapor Fraction								1	1	0,433174
Mass Liquid Fraction								0	0	0,566826
Mass Solid Fraction								0	0	0
Molar Enthalpy							cal/mol	-115951	-114356	-118712
Mass Enthalpy							kJ/kg	-5614,37	-5537,13	-5748,02
Molar Entropy							cal/mol-K	-28,0188	-28,0188	-40,0795
Mass Entropy							cal/gm-K	-0,324035	-0,324035	-0,463516

Gambar 3.13 Tampilan *Results* dari ASPEN PLUS



BAB IV
HASIL DAN PERHITUNGAN

BAB IV

HASIL DAN PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan *Cooling Load* Desain Freezer

Dari desain *freezer* yang dibuat didapatkan nilai *cooling load* yang dibutuhkan.

$$\dot{Q}_{CL} = \frac{Q_{laten} + Q_{cair} + Q_{beku}}{t}$$

Keterangan :

\dot{Q}_{CL} = *cooling load* (kW)

Q_{laten} = Kalor Laten (kJ)

Q_{cair} = Kalor sensibel diatas titik beku air (kJ)

Q_{beku} = Kalor sensibel dibawah titik beku air (kJ)

t = waktu (s)

Langkah selanjutnya menghitung nilai kalo laten dan kalor sensibel yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} Q_{laten} &= m \cdot H_{laten} \\ &= 28 \text{ kg} \cdot 300,6 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \\ &= 8.416,8 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{cair} &= m \cdot c_{p,segar} \cdot \Delta T_{cair} \\ &= 28 \text{ kg} \cdot 3,855 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot (25 - 0)^\circ\text{C} \\ &= 2.698,5 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{beku} &= m \cdot c_{p,beku} \cdot \Delta T_{pembekuan} \\ &= 28 \text{ kg} \cdot 1, \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \cdot (0 - (-45))^\circ\text{C} \\ &= 2.487,24 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Keterangan :

Q_{laten} = Kalor Laten (kJ)

Q_{cair} = Kalor sensibel diatas titik beku air (kJ)

Q_{beku} = Kalor sensibel dibawah titik beku air (kJ)

m = massa total stroberi (kg)

H_{latent} = Kalor jenis laten

$c_{p,segar}$ = Kalor jenis stroberi segar

$c_{p,beku}$ = Kalor jenis stroberi beku

ΔT_{cair} = Perubahan temperatur stroberi awal menuju titik beku

$\Delta T_{pembekuan}$ = Perubahan temperatur stroberi dari titik beku menuju temperatur pendinginan

Sehingga, nilai kapasitas refrigerasi yang diperlukan untuk mendinginkan 28 kilogram stroberi dengan waktu 4 jam dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{CL} &= \frac{Q_{laten} + Q_{cair} + Q_{beku}}{t} \\ \dot{Q}_{CL} &= \frac{8.416,8 \text{ kJ} + 2.698,5 \text{ kJ} + 2.487,24 \text{ kJ}}{4 \cdot 3600 \text{ s}} \\ \dot{Q}_{CL} &= 0,94 \text{ kW} \end{aligned}$$

4.2 Hasil Data *CoolPack*

Tabel 4.1 Batas tekanan kondisi 1 dan 3 refrigeran yang digunakan

Refrigerant	Tekanan kondisi 1 max (bar)	Tekanan kondisi 3min (bar)
R-134a	0,396	10,164
R-22	0,827	15,335

Variasi tekanan yang dibuat pada titik 1 akan diambil 2 sampai 3 nilai tekanan pada titik 1 dengan interval nilai tekanan sebanyak 0,1 bar. Sementara variasi tekanan yang dibuat pada titik 3 akan diambil 5 nilai tekanan dengan interval nilai tekanan sebanyak 2 bar. Dari tabel diatas, berikut adalah data tekanan yang akan dipilih untuk pengambilan data.

- R-22
 - $P_1 = \{0,6 \text{ bar}; 0,7 \text{ bar}; 0,8 \text{ bar}\}$
 - $P_3 = \{16 \text{ bar}, 18 \text{ bar}, 20 \text{ bar}, 22 \text{ bar}, 24 \text{ bar}\}$
- R-134a
 - $P_1 = \{0,2 \text{ bar}; 0,3 \text{ bar}\}$
 - $P_3 = \{11 \text{ bar}, 13 \text{ bar}, 15 \text{ bar}, 17 \text{ bar}, 19 \text{ bar}\}$

Keterangan :

P_1 = Tekanan pada titik kondisi 1 (Bar)

P_3 = Tekanan pada titik kondisi 3 (Bar)

Dari hasil pengujian data di *Coolpack* didapatkan data berupa nilai entropi di titik 1 dan nilai entalpi di semua titik.

Berikut adalah hasil pengambilan data dari aplikasi *Coolpack* pada R-22.

Tabel 4.2 Hasil Data *Coolpack* dari R-22

p1 (bar)	p3 (bar)	h1 (kJ/kg)	s1 (kJ/kg.C)	h2 (kJ/kg)	h3 = h4 (kJ/kg)
0,6	16	231,556	1,0453	321,47	94,273
	18	231,556	1,0453	325,381	94,273
	20	231,556	1,0453	328,914	94,273
	22	231,556	1,0453	332,136	94,273
	24	231,556	1,0453	335,098	94,273
0,7	16	231,265	1,0295	315,49	94,273

	18	231,265	1,0295	319,294	94,273
	20	231,265	1,0295	322,73	94,273
	22	231,265	1,0295	325,862	94,273
	24	231,265	1,0295	328,742	94,273
0,8	16	230,971	1,0158	310,351	94,273
	18	230,971	1,0158	314,062	94,273
	20	230,971	1,0158	317,412	94,273
	22	230,971	1,0158	320,467	94,273
	24	230,971	1,0158	323,275	94,273

Keterangan :

P_1 = Tekanan pada titik kondisi 1

P_3 = Tekanan pada titik kondisi 3

s_1 = Entropi pada titik kondisi 1

h_1 = Entalpi pada titik kondisi 1

h_2 = Entalpi pada titik kondisi 2

h_3 = Entalpi pada titik kondisi 3

h_4 = Entalpi pada titik kondisi 4

Berikut adalah hasil pengambilan data dari aplikasi *Coolpack* pada R-134a.

Tabel 4.3 Hasil Data *Coolpack* dari R-134a

p_1 (bar)	p_3 (bar)	h_1 (kJ/kg)	s_1 (kJ/kg.C)	h_2 (kJ/kg)	$h_3 = h_4$ (kJ/kg)
0,2	11	220,687	1,0222	309,161	106,189
	13	220,687	1,0222	313,292	106,189
	15	220,687	1,0222	316,827	106,189
	17	220,687	1,0222	319,91	106,189
	19	220,687	1,0222	322,64	106,189

0,3	11	220,201	0,9875	297,19	106,189
	13	220,201	0,9875	301,098	106,189
	15	220,201	0,9875	304,435	106,189
	17	220,201	0,9875	307,34	106,189
	19	220,201	0,9875	309,907	106,189

Keterangan :

P_1 = Tekanan pada titik kondisi 1 (keluar evaporator)

P_3 = Tekanan pada titik kondisi 3 (keluar kondensor)

s_1 = Entropi pada titik kondisi 1 (keluar evaporator)

h_1 = Entalpi pada titik kondisi 1 (keluar evaporator)

h_2 = Entalpi pada titik kondisi 2 (masuk kondensor)

h_3 = Entalpi pada titik kondisi 3 (keluar kondensor)

h_4 = Entalpi pada titik kondisi 4 (masuk evaporator)

4.3 Pengolahan Data *CoolPack*

Untuk menghitung nilai CoP , dibutuhkan nilai efek refrigerasi (q_o) dan kerja spesifik (w) yang didapatkan dari nilai entalpi. Berikut adalah contoh perhitungan pada refrigeran jenis R22 dengan p_1 sebesar 0,6 bar dan p_3 sebesar 16.

$$q_o = h_1 - h_4$$

$$q_o = 231,556 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 94,273 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_o = 137,283 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w = h_2 - h_1$$

$$w = 309,161 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 320,053 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w = 89,914 \frac{kJ}{kg}$$

$$CoP = \frac{q_o}{w}$$

$$CoP = \frac{137,283 \frac{kJ}{kg}}{89,914 \frac{kJ}{kg}}$$

$$CoP = 1,53$$

Keterangan :

q_o = Efek refrigeransi

w = Kerja spesifik

CoP = *Coefficient of Performance*

Dari perhitungan diatas kemudian dilanjutkan dengan data pada variasi tekanan dan refrigeran yang lain. Hasilnya didapatkan nilai efek refrigerasi, kerja spesifik dan *coefficient of performance*. Berikut adalah hasil perhitungan dari efek refrigerasi, kerja spesifik dan *coefficient of performance* dari data R-22 sebagai berikut.

Tabel 4.4 Hasil perhitungan efek refrigerasi dan kerja kompresi R-22

p1 (bar)	p3 (bar)	q _o (kJ/kg)	w (kJ/kg)
0,6	16	137,283	89,914
	18	137,283	93,826
	20	137,283	97,358
	22	137,283	100,58
	24	137,283	103,542
0,7	16	136,991	84,225
	18	136,991	88,03

	20	136,991	91,465
	22	136,991	94,597
	24	136,991	97,478
0,8	16	136,698	79,38
	18	136,698	83,091
	20	136,698	86,441
	22	136,698	89,496
	24	136,698	92,303

Keterangan :

p_1 = Tekanan pada kondisi 1 (keluar evaporator)

p_3 = Tekanan pada kondisi 3 (keluar kondensor)

q_o = Efek refrigeransi

w = Kerja spesifik

Berikut adalah hasil perhitungan dari efek refrigerasi, kerja spesifik dan *coefficient of performance* dari data R-134a sebagai berikut.

Tabel 4.5 Hasil perhitungan efek refrigerasi dan kerja kompresi R-134a

p_1 (bar)	p_3 (bar)	q_o (kJ/kg)	w (kJ/kg)
0,2	11	114,498	88,474
	13	114,498	92,605
	15	114,498	96,14
	17	114,498	99,223
	19	114,498	101,953
0,3	11	114,012	76,988
	13	114,012	80,896
	15	114,012	84,234
	17	114,012	87,139
	19	114,012	89,706

Keterangan :

p_1 = Tekanan pada kondisi 1 (keluar evaporator)

p_3 = Tekanan pada kondisi 3 (keluar kondensor)

q_o = Efek refrigeransi

w = Kerja spesifik

4.4 Perhitungan Nilai *Coefficient of Performance* dan Daya Kompresi

Daya kompresi dipengaruhi oleh nilai laju aliran massa dan entalpi dari refrigeran yang bekerja pada kompresor. Sehingga dijabarkan dengan rumus berikut :

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

Keterangan :

\dot{W} = Daya kompresi (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa $\left(\frac{kg}{s}\right)$

h_1 = entalpi masuk kompresor $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

h_2 = entalpi keluar kompresor $\left(\frac{kJ}{kg}\right)$

Untuk mencari nilai laju aliran massa yang dibutuhkan, dapat dengan menggunakan hukum 1 termodinamika dan membandingkan antara *cooling load* dari *freezer* dengan kapasitas refrigerasi dari sistem pendingin hasil simulasi. Laju aliran massa yang dibutuhkan berbeda pada tiap refrigeran. Setelah mendapatkan nilai laju aliran massa, selanjutnya didapatkan nilai daya kompresor. Setelah didapatkan nilai daya kompresi dan kapasitas refrigerasi, selanjutnya dapat dicari nilai *Coefficient of Performance* yang sebenarnya.

Berikut contoh perhitungan laju aliran massa dan dilanjutkan dengan nilai daya kompresi yang dibutuhkan dari R22 dan R134a.

- R22

$$p_1 = 0,8 \text{ bar}$$

$$p_3 = 16 \text{ bar}$$

$$h_1 = 230,971 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 310,351 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_4 = 94,273 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1. Mencari laju aliran massa :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{CL}$$

$$\dot{m} \cdot q_o = \dot{Q}_{CL}$$

$$\dot{m} \cdot 136,698 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,94 \text{ kW}$$

$$\dot{m} = \frac{0,94 \text{ kW} \cdot \text{kg}}{136,698 \text{ kJ}}$$

$$\dot{m} = 5,04 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2. Mencari Daya kompresor :

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{W} = 5,04 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 79,38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{W} = 0,546 \text{ kW}$$

3. Mencari Nilai CoP :

$$CoP = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}}$$

$$CoP = \frac{0,94 \text{ kW}}{0,546 \text{ kW}}$$

$$CoP = 1,722$$

Keterangan :

\dot{Q}_{CL} = Cooling Load

\dot{Q} = Kapasitas refrigerasi

\dot{m} = Laju aliran massa

q_o = efek refrigerasi

\dot{W} = Daya kompresi

\dot{m} = Laju aliran massa

h_1 = entalpi pada kondisi 1 (masuk kompresor)

h_2 = entalpi pada kondisi 2 (keluar kompresor)

CoP = Coefficient of Performance

- R134a

$$p_1 = 0,3 \text{ bar}$$

$$p_3 = 11 \text{ bar}$$

$$h_1 = 220,201 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 297,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_4 = 106,189 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

1. Mencari laju aliran massa :

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{CL}$$

$$\dot{m} \cdot q_o = \dot{Q}_{CL}$$

$$\dot{m} \cdot 114,012 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 0,94 \text{ kW}$$

$$\dot{m} = \frac{0,94 \text{ kW} \cdot \text{kg}}{114,012 \text{ kJ}}$$

$$\dot{m} = 8,24 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2. Mencari Daya kompresor :

$$\dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\dot{W} = 8,24 \times 10^{-3} \frac{kg}{s} \cdot 76,988 \frac{kJ}{kg}$$

$$\dot{W} = 0,635 kW$$

3. Mencari Nilai CoP :

$$CoP = \frac{\dot{Q}}{\dot{W}}$$

$$CoP = \frac{0,94}{0,635}$$

$$CoP = 1,481$$

Keterangan :

\dot{Q}_{CL} = Cooling Load

\dot{Q} = Kapasitas refrigerasi

\dot{m} = Laju aliran massa

q_o = efek refrigerasi

\dot{W} = Daya kompresi

\dot{m} = Laju aliran massa

h_1 = entalpi pada kondisi 1 (masuk kompresor)

h_2 = entalpi pada kondisi 2 (keluar kompresor)

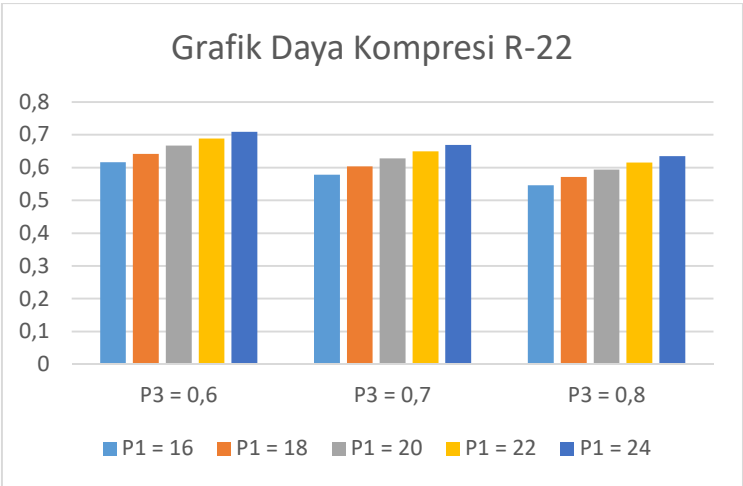
CoP = *Coefficient of Performance*

Selanjutnya perhitungan di atas dilanjutkan pada seluruh percobaan yang dilakukan pada aplikasi *Coolpack*. Nilai kapasitas refrigerasi yang dibutuhkan sama dengan nilai *cooling load* dari pendinginan stroberi yang dibutuhkan. Sehingga nilai kapasitas refrigerasi dari setiap percobaan sama, yaitu sebesar 0,94 kW. Hasil semua perhitungan dari percobaan dengan R-22 dan R-134a ditunjukkan pada tabel berikut.

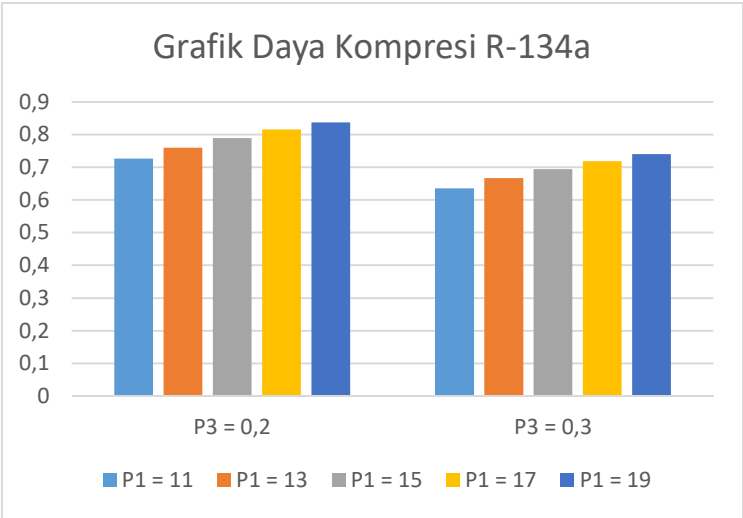
Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Daya Kompresi dan *Coefficient of Performance*

Refrigeran	p^1 (bar)	p^3 (bar)	\dot{m} (kg/s)	\dot{W} (kW)	CoP
R-22	0,6	16	0,00685	0,616	1,527
		18	0,00685	0,642	1,463
		20	0,00685	0,667	1,410
		22	0,00685	0,689	1,365
		24	0,00685	0,709	1,326
	0,7	16	0,00686	0,578	1,627
		18	0,00686	0,604	1,556
		20	0,00686	0,628	1,498
		22	0,00686	0,649	1,448
		24	0,00686	0,669	1,405
	0,8	16	0,00688	0,546	1,722
		18	0,00688	0,571	1,645
		20	0,00688	0,594	1,581
		22	0,00688	0,615	1,527
		24	0,00688	0,635	1,481
R-134a	0,2	11	0,00821	0,726	1,294
		13	0,00821	0,760	1,236
		15	0,00821	0,789	1,191
		17	0,00821	0,815	1,154
		19	0,00821	0,837	1,123
	0,3	11	0,00824	0,635	1,481
		13	0,00824	0,667	1,409
		15	0,00824	0,694	1,354
		17	0,00824	0,718	1,308
		19	0,00824	0,740	1,271

Berikut adalah grafik dari nilai daya kompresi yang dibutuhkan pada refrigeran R-22 dan R-134a.



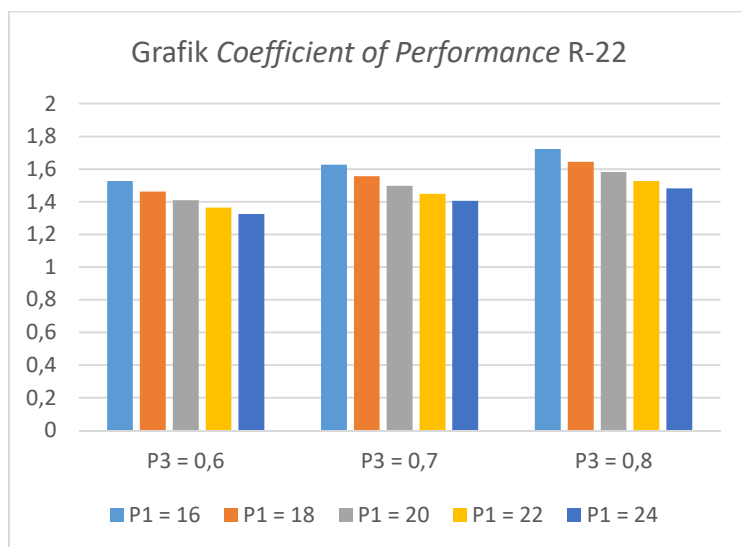
Gambar 4.1 Grafik daya kompresi dari R-22



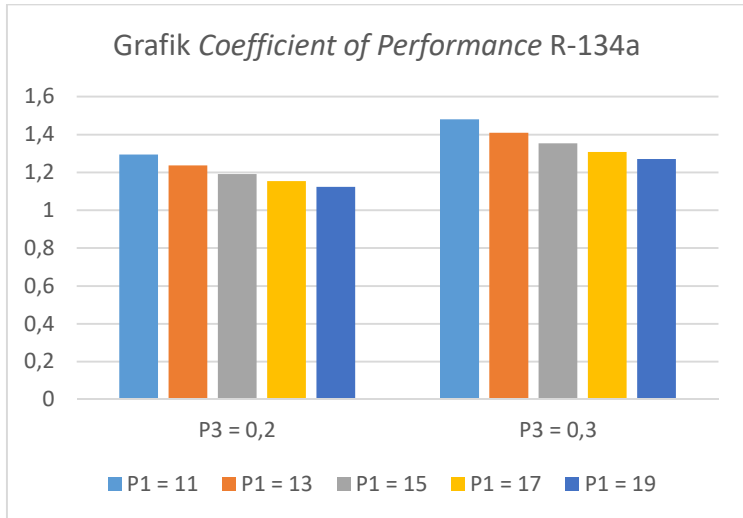
Gambar 4.2 Grafik daya kompresi R-134a

Dari grafik diatas, jika nilai tekanan masuk dan keluar kompresor naik, maka nilai daya kompresi juga naik. Hal ini berlaku untuk semua refrigeran, baik R-22 maupun R-134a. Hal ini dikarenakan semakin tinggi tekanan masuk atau keluar kompresor yang dibutuhkan, maka kompresor harus bekerja lebih kuat lagi. Nilai daya kompresor ini akan mempengaruhi *Coefficient of Performance*.

Berikut adalah grafik dari nilai *Coefficient of Performance* dari refrigeran R-22 dan R-134a.



Gambar 4.3 Grafik *Coefficient of Performance* dari R-22



Gambar 4.4 Grafik *Coefficient of Performance* dari R-134a

Coefficient of Performance dipengaruhi oleh kapasitas refrigerasi dan daya kompresor. Nilai kapasitas refrigerasi dari tiap percobaan sama karena harus disesuaikan dengan *cooling load* dari pendinginan cepat stroberi. Sementara daya kompresor berubah sesuai dengan gambar 4.1 dan gambar 4.2. Semakin turun daya kompresor yang dibutuhkan, nilai *CoP* akan semakin naik. Maka dari itu untuk mendapatkan nilai *CoP* yang maksimal dari percobaan, dibutuhkan nilai daya kompresi minimal.

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai *CoP* terbaik dari masing-masing refrigeran. Pada R-22, didapatkan nilai *CoP* terbaik sebesar 1,722 dengan daya kompresi sebesar 0,546 kW. Tekanan keluar evaporator sebesar 0,8 bar dan tekanan keluar kondensor sebesar 16 bar. Sementara pada R134a, didapatkan nilai *CoP* terbaik sebesar 1,481 dengan daya kompresi sebesar 0,635. Tekanan keluar evaporator sebesar 0,3 bar dan tekanan keluar kondensor sebesar 11 bar.

4.5 Pengecekan Realisasi Menggunakan Mach Number

Refrigeran terbaik dari hasil simulasi adalah R-22 dengan laju aliran massa sebesar $5,04 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}$. Nilai massa jenis masuk dan keluar kompresor dapat dilihat pada lampiran 4 dengan menggunakan interpolasi agar ditemukan nilai massa jenis pada temperatur $-45^{\circ}C$ dan $40^{\circ}C$. Hasil interpolasinya adalah sebagai berikut.

Tabel 4.7 Interpolasi nilai *density* R-22 pada temperatur $-45^{\circ}C$

Temperatur (°F)	Temperatur (°C)	Density (lb/ft ³)	Density (kg/m ³)
-50	-45,56	0,2374	3,801
-49	-45	0,2438	3,905
-45	-40	0,2692	4,312

Tabel 4.8 Interpolasi nilai *density* R-22 pada temperatur $40^{\circ}C$

Temperatur (°F)	Temperatur (°C)	Density (lb/ft ³)	Density (kg/m ³)
105	40,56	4,193	67,165
104	40	4,134	66,22
100	37,78	3,897	62,424

Untuk mencari nilai *mach number* dilakukan proses perhitungan sebagai berikut :

- *Suction* kompresor

$$\dot{m} = \rho_{s-R22} \cdot V \cdot A$$

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_{s-R22} \cdot A}$$

$$= \frac{\dot{m}}{\rho_{R-22} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2\right)}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{5,04 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}}{3,905 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left(\frac{3}{8} inch \cdot \frac{0,0254m}{1inch} \right)^2 \right)} \\
&= 18,11 \frac{m}{s} \\
M &= \frac{V}{c} \\
&= \frac{18,11 \frac{m}{s}}{351,8 \frac{m}{s}} \\
&= 0,0514
\end{aligned}$$

• *Discharge* kompresor

$$\begin{aligned}
\dot{m} &= \rho_{d-R22} \cdot V \cdot A \\
V &= \frac{\dot{m}}{\rho_{d-R22} \cdot A} \\
&= \frac{\dot{m}}{\rho_{d-R22} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \right)} \\
&= \frac{5,04 \times 10^{-3} \frac{kg}{s}}{66,22 \frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot \left(\frac{1}{8} inch \cdot \frac{0,0254m}{1inch} \right)^2 \right)} \\
&= 30,2 \frac{m}{s} \\
M &= \frac{V}{c} \\
&= \frac{30,2 \frac{m}{s}}{351,8 \frac{m}{s}}
\end{aligned}$$

$$= 0,085$$

Keterangan :

\dot{m} = Temperatur pada kondisi 1 (keluar evaporator)

ρ_{s-R22} = massa jenis R-22 masuk kompresor

ρ_{d-R22} = massa jenis R-22 keluar kompresor

V = Kecepatan aliran refrigeran dalam pipa

A = luar pipa

d = diameter pipa

c = kecepatan suara di udara dengan $T = 35^\circ\text{C}$

Nilai *mach number* dari *suction* kompresor sebesar 0,0514, sementara *mach number* dari *discharge* kompresor sebesar 0,085. Dikarenakan nilai mach number pada pipa kurang dari 0,3 maka kecepatan aliran pada pipa tidak terjadi compressible flow dan refrigerant yang digunakan bisa direalisasikan. Selain itu suara kerja dari kompresor masih dalam batas subsonik ($M < 0,3$), yang artinya masih dalam batas aman pendengaran manusia.

4.6 Pengolahan Data ASPEN PLUS

Setelah didapatkan data nilai CoP terbaik dari refrigeran terbaik yang dipilih (R-22), data tersebut diinput ke aplikasi ASPEN PLUS. Beberapa data yang diinput sebagai berikut :

- $T_1 = -45^\circ\text{C}$
- $T_3 = 40^\circ\text{C}$
- $P_1 = 0,8$ bar
- $P_3 = 16$ bar

Keterangan :

T_1 = Temperatur pada kondisi 1 (keluar evaporator)

T_3 = Temperatur pada kondisi 3 (keluar kondensor)

P_1 = Tekanan pada kondisi 1 (keluar evaporator)

P_3 = Tekanan pada kondisi 3 (keluar kondensor)

Setelah data diatas diinput ke aplikasi ASPEN PLUS, didapatkan data sebagai berikut :

- T1 = -45°C
- T3 = 40°C
- p1 = 0,8 bar
- p3 = 16 bar
- h1 = -5614,3 kJ/kg
- h2 = -5535,48 kJ/kg
- h3 = -5748,02 kJ/kg
- h4 = -5748,02 kJ/kg

Dari data diatas bisa dihitung nilai efek refrigerasi dan kerja spesifik dari tiap-tiap refrigeran. Dari kedua nilai itu selanjutnya dapat dihitung nilai *coeficient of performance* dari refrigeran itu. Berikut perhitungannya :

$$q_o = h_1 - h_4$$

$$q_o = -5614,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (-5748,02) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_o = 133,71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w = h_2 - h_1$$

$$w = -5535,48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (-5614,3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w = 78,82 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$CoP = \frac{q_o}{w}$$

$$CoP = \frac{133,71 \frac{kJ}{kg}}{78,82 \frac{kJ}{kg}}$$

$$CoP = 1,7$$

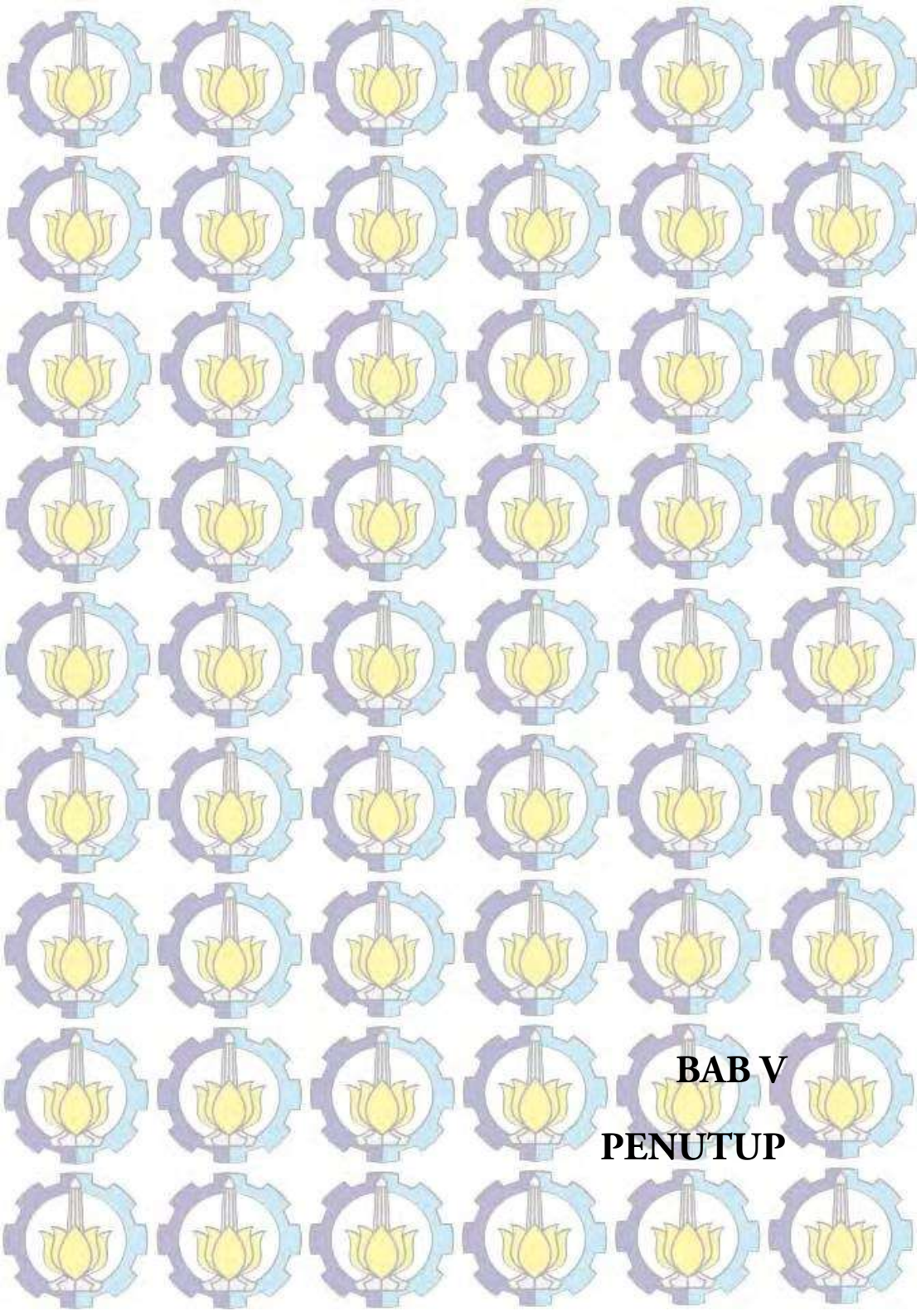
Keterangan :

q_o = Efek refrigeransi

w = Kerja spesifik

CoP = *Coefficient of Performance*

Dari hasil perhitungan data ASPEN PLUS yang telah dilakukan, hasil rangkaian sistem pendinginan dengan menggunakan R-22 memiliki nilai CoP tertinggi sebesar 1,7 dengan nilai efek refrigeransi sebesar 133,71 kJ/kg dan kerja spesifik sebesar 78,82 kJ/kg.



BAB V
PENUTUP

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

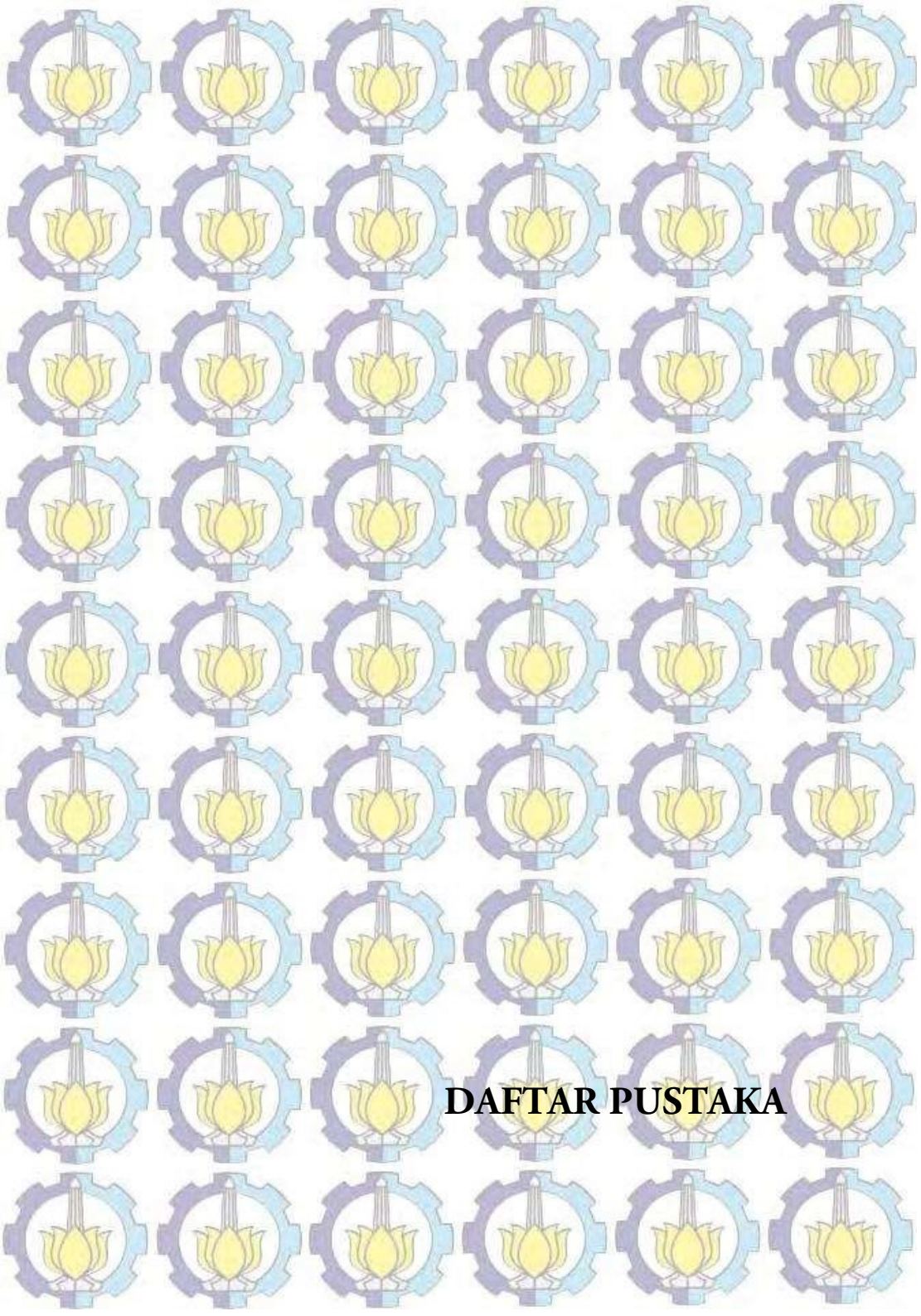
Dari hasil analisa dan perhitungan yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan desain alat pendinginan yang dibuat dapat menampung stroberi sebanyak 28 kg dan memiliki *cooling load* sebesar 0.94 kW.
2. R-22 memiliki performa terbaik pada tekanan *superheated* sebesar 0,8 bar dan *subcool* sebesar 16 bar. Sementara R-134a memiliki performa terbaik pada tekanan *superheated* sebesar 0,3 bar dan tekanan *subcool* sebesar 11 bar.
3. R-22 memiliki performa terbaik dari R-134a dan dapat digunakan dalam sistem pendinginan cepat stroberi.
4. Berdasarkan hasil perhitungan setelah dilakukan simulasi menggunakan *coolpack* dan ASPEN PLUS Dengan menggunakan R-22 sebagai refrigerannya, daya kompresi yang dibutuhkan sebesar 0,554 kW. *Coeficient of performance* dari alat pendinginan cepat yang dicapai sebesar 1,7.

5.2 Saran

Salah satu aplikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *CoolPack*. Aplikasi *Coolpack* memang cukup mudah digunakan bagi mahasiswa dan memiliki data yang memenuhi dengan kebutuhan seperti tabel *saturation*, tabel *superheated* atau *subcool*, diagram P-h, diagram T-s, . Aplikasi ini juga tidak berbayar dan bisa diunduh langsung melalui web yang sudah

disediakan. Namun, aplikasi *Coolpack* juga kurang *update* sehingga tidak semua refrigeran ada di aplikasi ini, misalnya R-32 yang masih baru dan mulai banyak digunakan pada era sekarang.



DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Shishehgarha, F., J. Makhlouf., dan C. Ratti. 2002.” *Freeze-Drying Characteristics of Strawberries*”. Canada : Department of Soil and Agri-food Engineering, and Department of Food Science and Nutrition, Laval University Ste-Foy

Berk, Zeki. 2009.” *Food Process Engineering and Technology*”. Israel : Department of Biotechnology and Food Engineering TECHNION, Israel Institute of Technology

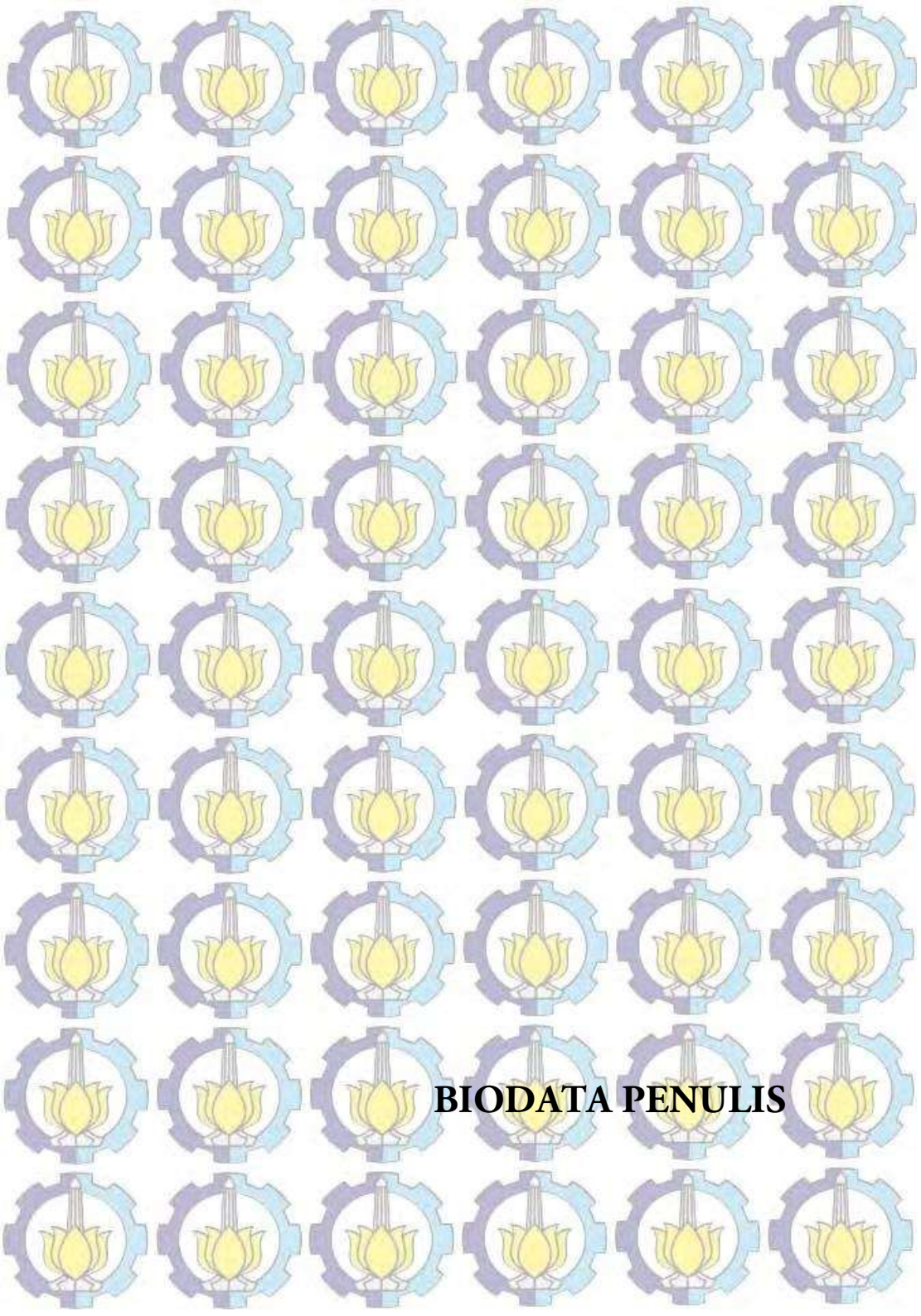
Arora, C.P. *Refrigeration and Air Conditioning* Third Edition. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, (1984).

Miller, Mark R., Rex Miller. 2012.” *Air Conditioning and refrigeration Second* ”. United State of America: State University of New York dan The University of Texas

Cengel, Yunus A., Afshin J. Ghajar. 2015.” *Heat and Mass Transfer Fifth Edition* ”. United State of America: University of Nevada dan Oklahoma State University

Labconco Corporation., “ *A Guide To Freeze Drying for the Laboratory*”. United State of America: Kansas City

National Refrigerants, Inc. 2016. “ *Refrigerant Reference Guide Sixth Edition*”. United State of America: Philadelphia



BIODATA PENULIS

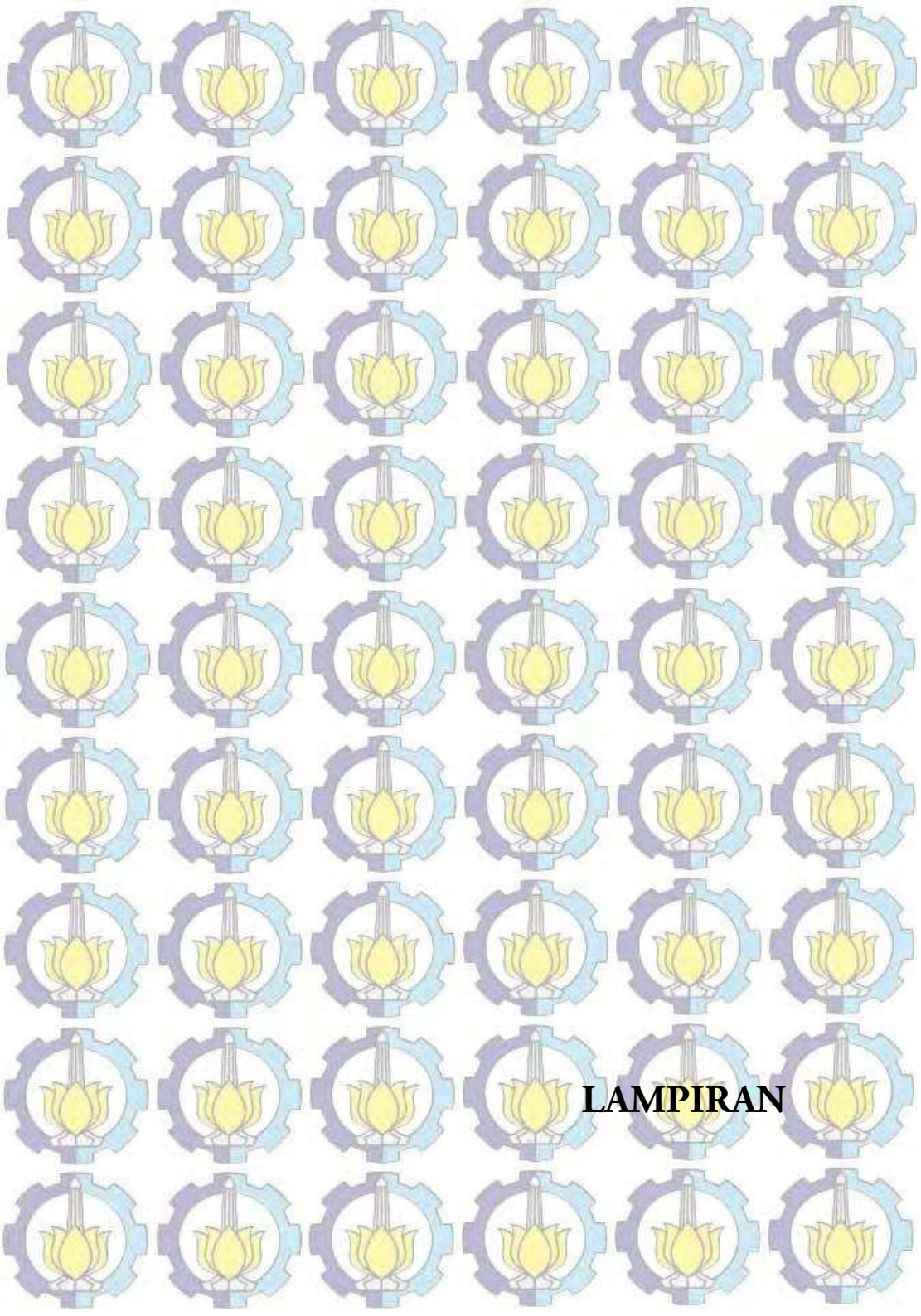
BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir pada tanggal 15 Februari 1998 di Surabaya, Jawa Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SD Negeri Percobaan Surabaya, SMP Negeri 22 Surabaya dan SMA Negeri 15 Surabaya. Setelah itu pada tahun 2016 penulis meneruskan pendidikan pada tingkat perguruan tinggi di Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi – Institut Teknologi Sepuluh

Nopember Surabaya.

Selama menempuh perkuliahan di Departemen Teknik Mesin Industri penulis aktif mengikuti kegiatan organisasi maupun kepanitiaan di kampus. Antara lain menjadi Anggota Fasilitator Perlengkapan Gerigi ITS 2017, kepala biro Kesejahteraan Mahasiswa AKESMA HMDM 2017/2018, Panitia Malam Bina Iman dan Taqwa 2017 dan Ketua divisi perlengkapan dalam event SEC 1.0 HMDM 2018. Penulis juga mengikuti pelatihan di fakultas yaitu Pelatihan LKMM Pra-TD FTI ITS serta pelatihan yang diadakan HMDM antara lain : Pelatihan Karya Tulis Ilmiah (PKTI) dan LKMM TD FV ITS. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: firmanamin123@gmail.com.



LAMPIRAN

Tabel *Properties* Tekanan dan Temperatur Refrigeran (Menurut Aplikasi *CoolPack*)

Refrigeran	Temperatur Minimal	Temperatur Kritis	Tekanan pada -45C	Tekanan pada 40C
	C	C	bar	bar
R11	-70	198,01	0,037	1,735
R12	-90	112	0,504	9,6
R13	-181	28,8	5,08	N/A
R14	-184,9	-45,7	N/A	N/A
R21	-135	178,5	0,069	N/A
R22	-150	96	0,827	15,335
R23	-100	25,9	5,877	N/A
R50	-182,2	-82,59	N/A	N/A
R113	-35	214,1	N/A	0,784
R114	-94	145,7	0,098	3,372
R123	-60	183,68	0,027	1,55
R134a	-103,3	101,1	0,396	10,164
R152a	-118,59	98	0,4	9,119
R170	-183	32,73	6,629	N/A
R290	-130	96,67	0,882	13,659
RC318	-41,4	115,3	N/A	4,954
R600	-138,29	150,8	0,127	3,751
R600a	-159,6	135,59	0,221	5,359
R717	-77,66	132,35	0,545	15,549
R1150	-169	9	12,458	N/A
R1270	-185	91,75	1,146	16,488

Table of saturated values for: R22, CHClF2, Chlorodifluoromethane

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
-60,00	0,375	0,6821	0,53724	134,75	379,12	244,38	0,7324	1,8789
-59,00	0,397	0,6833	0,50962	135,76	379,61	243,85	0,7372	1,8758
-58,00	0,420	0,6846	0,48369	136,77	380,09	243,32	0,7419	1,8728
-57,00	0,444	0,6859	0,45933	137,78	380,58	242,79	0,7465	1,8698
-56,00	0,469	0,6872	0,43643	138,80	381,06	242,26	0,7512	1,8669
-55,00	0,495	0,6885	0,41489	139,81	381,54	241,72	0,7559	1,8640
-54,00	0,522	0,6899	0,39462	140,84	382,02	241,18	0,7606	1,8611
-53,00	0,551	0,6912	0,37554	141,86	382,50	240,64	0,7652	1,8583
-52,00	0,580	0,6925	0,35755	142,88	382,98	240,09	0,7699	1,8555
-51,00	0,611	0,6939	0,34060	143,91	383,45	239,54	0,7745	1,8528
-50,00	0,644	0,6952	0,32461	144,94	383,93	238,99	0,7791	1,8501
-49,00	0,678	0,6966	0,30951	145,98	384,40	238,43	0,7837	1,8474
-48,00	0,713	0,6980	0,29526	147,01	384,88	237,86	0,7883	1,8448
-47,00	0,749	0,6994	0,28180	148,05	385,35	237,30	0,7929	1,8422
-46,00	0,787	0,7008	0,26907	149,09	385,82	236,73	0,7975	1,8397
-45,00	0,827	0,7022	0,25703	150,14	386,29	236,15	0,8021	1,8372
-44,00	0,868	0,7036	0,24564	151,19	386,76	235,57	0,8066	1,8347
-43,00	0,911	0,7050	0,23485	152,24	387,23	234,99	0,8112	1,8322
-42,00	0,955	0,7064	0,22464	153,29	387,69	234,40	0,8157	1,8298
-41,00	1,002	0,7079	0,21496	154,34	388,16	233,81	0,8203	1,8275
-40,00	1,049	0,7093	0,20578	155,40	388,62	233,22	0,8248	1,8251
-39,00	1,099	0,7108	0,19707	156,46	389,08	232,62	0,8293	1,8228
-38,00	1,151	0,7123	0,18881	157,52	389,54	232,01	0,8339	1,8205
-37,00	1,204	0,7138	0,18096	158,59	390,00	231,41	0,8384	1,8183
-36,00	1,259	0,7153	0,17351	159,66	390,45	230,79	0,8429	1,8161
-35,00	1,317	0,7168	0,16642	160,73	390,91	230,18	0,8474	1,8139
-34,00	1,376	0,7183	0,15969	161,80	391,36	229,55	0,8518	1,8117
-33,00	1,438	0,7198	0,15329	162,88	391,81	228,93	0,8563	1,8096
-32,00	1,501	0,7214	0,14719	163,96	392,26	228,30	0,8608	1,8075
-31,00	1,567	0,7229	0,14139	165,04	392,70	227,66	0,8652	1,8054
-30,00	1,635	0,7245	0,13586	166,13	393,15	227,02	0,8697	1,8034
-29,00	1,705	0,7261	0,13060	167,22	393,59	226,37	0,8741	1,8013
-28,00	1,778	0,7277	0,12558	168,31	394,03	225,72	0,8786	1,7993
-27,00	1,853	0,7293	0,12080	169,40	394,47	225,07	0,8830	1,7974
-26,00	1,930	0,7309	0,11623	170,50	394,91	224,41	0,8874	1,7954
-25,00	2,010	0,7325	0,11187	171,60	395,34	223,74	0,8918	1,7935
-24,00	2,092	0,7342	0,10772	172,70	395,77	223,07	0,8963	1,7916
-23,00	2,177	0,7358	0,10374	173,80	396,20	222,40	0,9007	1,7897
-22,00	2,265	0,7375	0,09995	174,91	396,63	221,72	0,9050	1,7879
-21,00	2,355	0,7392	0,09632	176,02	397,05	221,03	0,9094	1,7860
-20,00	2,448	0,7409	0,09286	177,13	397,48	220,34	0,9138	1,7842
-19,00	2,544	0,7426	0,08954	178,25	397,90	219,65	0,9182	1,7824
-18,00	2,643	0,7443	0,08637	179,37	398,31	218,95	0,9226	1,7807
-17,00	2,745	0,7461	0,08333	180,49	398,73	218,24	0,9269	1,7789
-16,00	2,849	0,7478	0,08042	181,61	399,14	217,53	0,9313	1,7772
-15,00	2,957	0,7496	0,07763	182,74	399,55	216,81	0,9356	1,7755
-14,00	3,068	0,7514	0,07497	183,87	399,96	216,09	0,9399	1,7738
-13,00	3,182	0,7532	0,07241	185,00	400,37	215,36	0,9443	1,7721
-12,00	3,299	0,7550	0,06996	186,14	400,77	214,63	0,9486	1,7705
-11,00	3,419	0,7569	0,06760	187,28	401,17	213,89	0,9529	1,7688
-10,00	3,543	0,7587	0,06535	188,42	401,56	213,14	0,9572	1,7672
-9,00	3,670	0,7606	0,06318	189,57	401,96	212,39	0,9615	1,7656
-8,00	3,801	0,7625	0,06110	190,71	402,35	211,64	0,9658	1,7640
-7,00	3,935	0,7644	0,05911	191,86	402,74	210,87	0,9701	1,7624
-6,00	4,072	0,7663	0,05719	193,02	403,12	210,11	0,9744	1,7609
-5,00	4,213	0,7683	0,05534	194,17	403,51	209,33	0,9787	1,7593
-4,00	4,358	0,7703	0,05357	195,33	403,88	208,55	0,9830	1,7578
-3,00	4,507	0,7722	0,05187	196,50	404,26	207,77	0,9872	1,7563
-2,00	4,659	0,7742	0,05023	197,66	404,63	206,97	0,9915	1,7548
-1,00	4,816	0,7763	0,04866	198,83	405,00	206,17	0,9957	1,7533

Table of saturated values for: R22, CHClF2, Chlorodifluoromethane

T °C	p Bar	v _l dm ³ /kg	v _g m ³ /kg	h _l kJ/kg	h _g kJ/kg	R kJ/kg	s _l kJ/(kg K)	s _g kJ/(kg K)
0,00	4,976	0,7783	0,04714	200,00	405,37	205,37	1,0000	1,7519
1,00	5,140	0,7804	0,04568	201,17	405,73	204,56	1,0042	1,7504
2,00	5,308	0,7825	0,04427	202,35	406,09	203,74	1,0085	1,7490
3,00	5,481	0,7846	0,04292	203,53	406,45	202,92	1,0127	1,7475
4,00	5,657	0,7867	0,04162	204,72	406,80	202,09	1,0169	1,7461
5,00	5,838	0,7889	0,04036	205,90	407,15	201,25	1,0212	1,7447
6,00	6,023	0,7910	0,03915	207,09	407,50	200,41	1,0254	1,7433
7,00	6,212	0,7932	0,03798	208,29	407,84	199,55	1,0296	1,7419
8,00	6,406	0,7955	0,03685	209,48	408,18	198,70	1,0338	1,7405
9,00	6,604	0,7977	0,03576	210,68	408,51	197,83	1,0380	1,7392
10,00	6,807	0,8000	0,03472	211,88	408,84	196,96	1,0422	1,7378
11,00	7,014	0,8023	0,03370	213,09	409,17	196,08	1,0464	1,7365
12,00	7,226	0,8046	0,03273	214,30	409,49	195,19	1,0506	1,7351
13,00	7,443	0,8070	0,03179	215,49	409,81	194,32	1,0547	1,7338
14,00	7,665	0,8094	0,03087	216,70	410,13	193,42	1,0589	1,7325
15,00	7,891	0,8118	0,02999	217,92	410,44	192,52	1,0631	1,7312
16,00	8,123	0,8142	0,02914	219,15	410,75	191,60	1,0672	1,7299
17,00	8,359	0,8167	0,02832	220,37	411,05	190,68	1,0714	1,7286
18,00	8,601	0,8192	0,02752	221,60	411,35	189,74	1,0756	1,7273
19,00	8,847	0,8217	0,02675	222,83	411,64	188,81	1,0797	1,7260
20,00	9,099	0,8243	0,02601	224,07	411,93	187,86	1,0839	1,7247
21,00	9,356	0,8269	0,02529	225,31	412,21	186,90	1,0880	1,7234
22,00	9,619	0,8295	0,02459	226,56	412,49	185,94	1,0922	1,7221
23,00	9,887	0,8322	0,02391	227,80	412,77	184,96	1,0963	1,7209
24,00	10,160	0,8349	0,02326	229,05	413,03	183,98	1,1005	1,7196
25,00	10,439	0,8376	0,02263	230,31	413,30	182,99	1,1046	1,7183
26,00	10,723	0,8404	0,02201	231,57	413,56	181,99	1,1087	1,7171
27,00	11,014	0,8432	0,02142	232,83	413,81	180,98	1,1129	1,7158
28,00	11,309	0,8461	0,02084	234,10	414,06	179,96	1,1170	1,7146
29,00	11,611	0,8490	0,02029	235,37	414,30	178,93	1,1211	1,7133
30,00	11,919	0,8519	0,01974	236,65	414,54	177,89	1,1253	1,7121
31,00	12,232	0,8549	0,01922	237,93	414,77	176,84	1,1294	1,7108
32,00	12,552	0,8579	0,01871	239,22	415,00	175,78	1,1335	1,7096
33,00	12,878	0,8610	0,01822	240,51	415,22	174,71	1,1377	1,7083
34,00	13,210	0,8641	0,01774	241,80	415,43	173,63	1,1418	1,7071
35,00	13,548	0,8673	0,01727	243,10	415,64	172,54	1,1459	1,7058
36,00	13,892	0,8705	0,01682	244,41	415,84	171,43	1,1500	1,7046
37,00	14,243	0,8738	0,01638	245,71	416,03	170,32	1,1542	1,7033
38,00	14,601	0,8771	0,01595	247,03	416,22	169,19	1,1583	1,7021
39,00	14,965	0,8805	0,01554	248,35	416,40	168,05	1,1624	1,7008
40,00	15,335	0,8839	0,01514	249,67	416,57	166,90	1,1666	1,6995
41,00	15,712	0,8874	0,01475	251,00	416,74	165,73	1,1707	1,6983
42,00	16,097	0,8909	0,01437	252,34	416,89	164,55	1,1748	1,6970
43,00	16,487	0,8946	0,01400	253,68	417,04	163,36	1,1790	1,6957
44,00	16,885	0,8983	0,01364	255,03	417,18	162,15	1,1831	1,6944
45,00	17,290	0,9020	0,01329	256,38	417,32	160,93	1,1873	1,6931
46,00	17,702	0,9058	0,01295	257,74	417,44	159,70	1,1914	1,6918
47,00	18,121	0,9097	0,01261	259,11	417,56	158,45	1,1956	1,6905
48,00	18,548	0,9137	0,01229	260,49	417,66	157,18	1,1998	1,6892
49,00	18,982	0,9178	0,01198	261,87	417,76	155,90	1,2039	1,6879
50,00	19,423	0,9219	0,01167	263,25	417,85	154,60	1,2081	1,6865

Copyright © 1999 Dep. of Energy Engineering, DTU
M.J. Skovrup & H.J.H Knudsen



R-22

R-22

Composition: 100% chlorodifluoromethane (CHClF₂)

Applications:

Medium and low temperature commercial and industrial refrigeration; residential and commercial air conditioning

Performance: Industry standard choice for AC until 2010

Lubricant:

Compatible with mineral oil, alkylbenzene and polyolester

Retrofitting:

- o Consult the comments on Pages 9 and 10
- o See Section II, pages 92-98 for detailed discussion

[PRESSURE-TEMP CHART]

TEMP. (°F)	R-22 psig
-40	0.5
-35	2.6
-30	4.9
-25	7.4
-20	10.1
-15	13.2
-10	16.5
-5	20.1
0	24.0
5	28.2
10	32.8
15	37.7
20	43.0
25	48.8
30	54.9
35	61.5
40	68.5
45	76.0
50	84.0
55	92.6
60	102
65	111
70	121
75	132
80	144
85	156
90	168
95	182
100	196
105	211
110	226
115	243
120	260
125	278
130	297
135	317
140	337
145	359
150	382

[PHYSICAL PROPERTIES OF REFRIGERANTS]

	National R-22
Environmental Classification	HCFC
Molecular Weight	86.5
Boiling Point (1atm, °F)	-41.5
Critical Pressure (psia)	723.7
Critical Temperature (°F)	205.1
Critical Density (lb./ft ³)	32.7
Liquid Density (70°F, lb./ft ³)	75.3
Vapor Density (bp,lb./ft ³)	0.294
Heat of Vaporization (bp, BTU/lb.)	100.5
Specific Heat Liquid (70 °F, BTU/lb. °F)	0.2967
Specific Heat Vapor (1atm, 70 °F, BTU/lb. °F)	0.1573
Ozone Depletion Potential (CFC 11 = 1.0)	0.05
Global Warming Potential (CO2 = 1.0)	1810
ASHRAE Standard 34 Safety Rating	A1

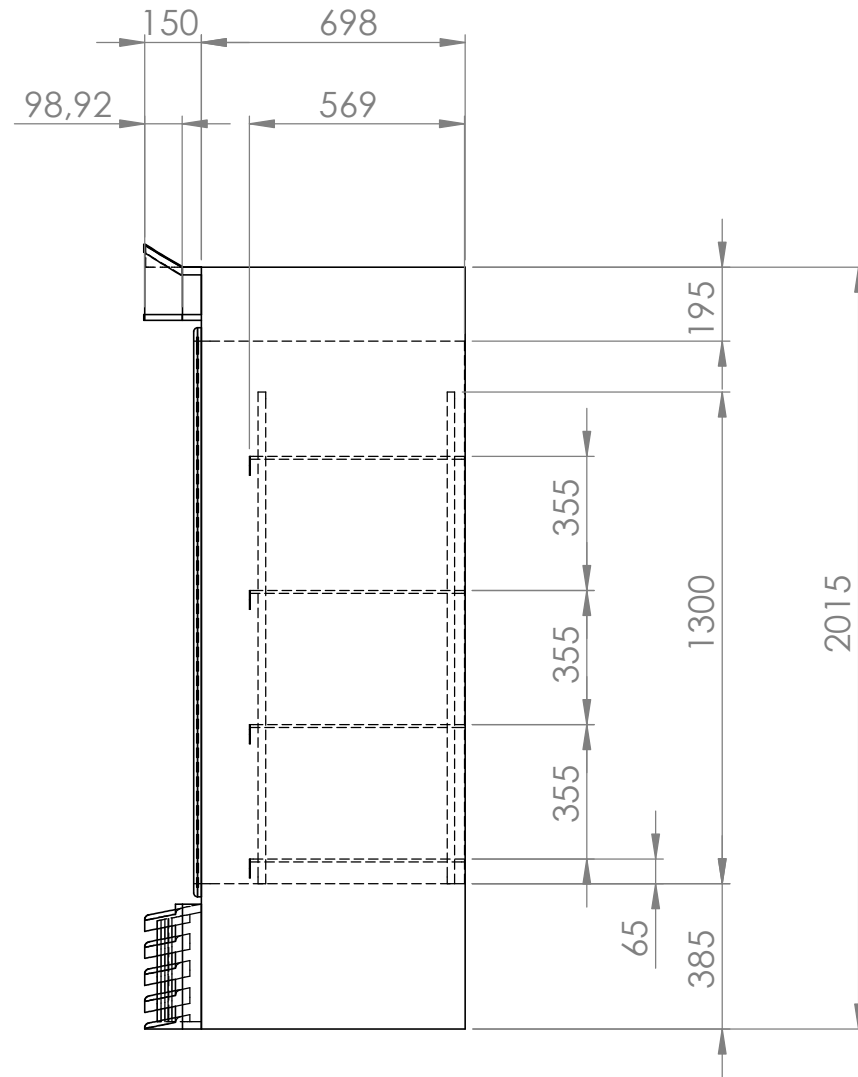
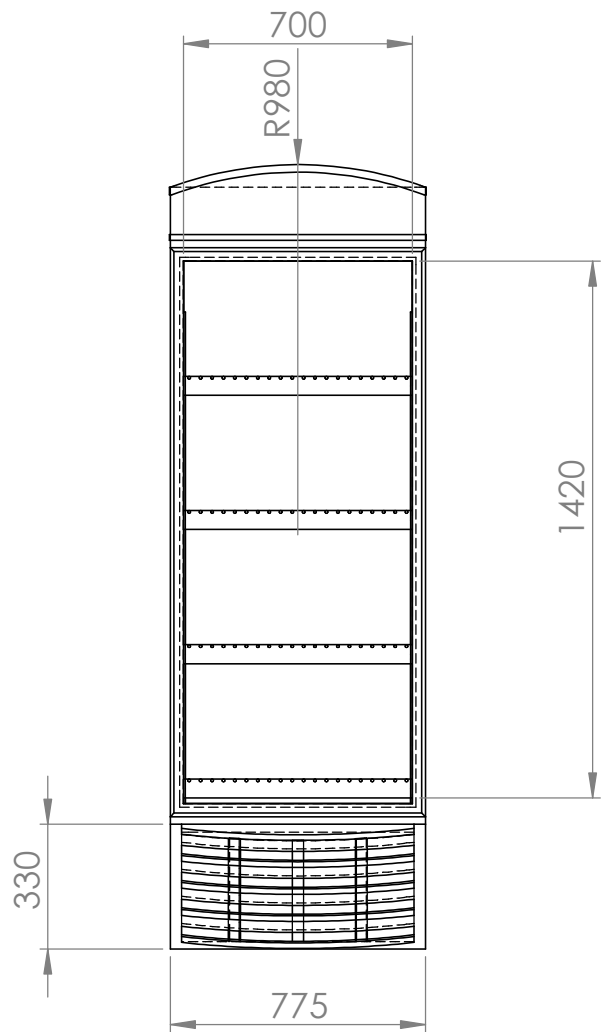
[AVAILABLE IN SIZES]

REFRIGERANT	Type	Size
	R-22	Cylinder
	50 lb.	
	125 lb.	
	1000 lb.	
	1750 lb.	



Thermodynamic Properties of R-22

TEMP. (°F)	Pressure Liquid (psia)	Density Liquid (lb/ft ³)	Density Vapor (lb/ft ³)	Enthalpy Liquid (Btu/lb)	Enthalpy Vapor (Btu/lb)	Entropy Liquid (Btu/R-lb)	Entropy Vapor (Btu/R-lb)
-60	8.8	89.82	0.1827	-5.189	98.09	-0.01264	0.2458
-55	10.2	89.33	0.2087	-3.897	98.66	-0.00943	0.2440
-50	11.7	88.83	0.2374	-2.602	99.22	-0.00626	0.2423
-45	13.4	88.33	0.2692	-1.303	99.79	-0.00311	0.2407
-40	15.3	87.82	0.3042	0.000	100.3	0.00000	0.2391
-35	17.3	87.32	0.3427	1.308	100.9	0.00309	0.2376
-30	19.6	86.80	0.3849	2.620	101.4	0.00615	0.2361
-25	22.1	86.29	0.4310	3.937	102.0	0.00918	0.2348
-20	24.9	85.76	0.4813	5.260	102.5	0.01220	0.2334
-15	27.9	85.24	0.5360	6.588	103.0	0.01519	0.2321
-10	31.2	84.71	0.5955	7.923	103.6	0.01815	0.2309
-5	34.8	84.17	0.6600	9.263	104.1	0.02110	0.2296
0	38.7	83.63	0.7299	10.61	104.6	0.02403	0.2285
5	43.0	83.08	0.8054	11.96	105.1	0.02694	0.2273
10	47.5	82.52	0.8868	13.33	105.6	0.02983	0.2263
15	52.5	81.96	0.9746	14.69	106.1	0.03270	0.2252
20	57.8	81.39	1.069	16.07	106.5	0.03556	0.2242
25	63.5	80.82	1.171	17.46	107.0	0.03841	0.2231
30	69.7	80.24	1.280	18.85	107.4	0.04124	0.2222
35	76.2	79.65	1.396	20.25	107.9	0.04406	0.2212
40	83.3	79.05	1.522	21.66	108.3	0.04686	0.2203
45	90.8	78.44	1.656	23.08	108.7	0.04966	0.2194
50	98.8	77.83	1.799	24.51	109.1	0.05244	0.2185
55	107.3	77.20	1.952	25.96	109.5	0.05522	0.2176
60	116.3	76.57	2.116	27.41	109.9	0.05798	0.2167
65	125.9	75.92	2.291	28.87	110.3	0.06074	0.2159
70	136.1	75.27	2.478	30.35	110.6	0.06350	0.2150
75	146.9	74.60	2.678	31.84	110.9	0.06625	0.2142
80	158.3	73.92	2.891	33.34	111.2	0.06899	0.2133
85	170.4	73.23	3.118	34.86	111.5	0.07173	0.2125
90	183.1	72.52	3.361	36.39	111.8	0.07447	0.2117
95	196.5	71.80	3.620	37.94	112.0	0.07721	0.2108
100	210.6	71.06	3.897	39.50	112.3	0.07996	0.2100
105	225.5	70.30	4.193	41.08	112.5	0.08270	0.2091
110	241.1	69.52	4.510	42.69	112.7	0.08545	0.2083
115	257.5	68.72	4.849	44.31	112.8	0.08821	0.2074
120	274.7	67.90	5.213	45.95	112.9	0.09098	0.2065
125	292.7	67.05	5.604	47.62	113.0	0.09376	0.2056
130	311.6	66.18	6.024	49.32	113.0	0.09656	0.2046
135	331.4	65.27	6.477	51.04	113.0	0.09937	0.2036
140	352.1	64.32	6.966	52.80	113.0	0.1022	0.2026
145	373.7	63.34	7.497	54.59	112.9	0.1051	0.2015
150	396.4	62.31	8.075	56.42	112.8	0.1080	0.2004
155	420.0	61.22	8.706	58.31	112.5	0.1110	0.1992
160	444.7	60.07	9.400	60.24	112.2	0.1140	0.1979



Skala : 1:20
 Satuan Ukuran : mm
 Tanggal : 12-01-2020

Digambar : Firman Aminudin
 NRP : 1021160000032
 Diperiksa :

Keterangan :

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
 INDUSTRI, FV-ITS

FREEZER

A4