

**RANCANG BANGUN ALAT PENGERING RUMPUT LAUT DENGAN
SISTEM *VACUUM FREEZE DRYING* MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-
134A**



**MUHAMMAD AGUNG JUNAID
D021 20 1009**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGERING RUMPUT LAUT DENGAN
SISTEM *VACUUM FREEZE DRYING* MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-
134A**

**MUHAMMAD AGUNG JUNAID
D021 20 1009**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**RANCANG BANGUN ALAT PENGERING RUMPUT LAUT DENGAN
SISTEM *VACUUM FREEZE DRYING* MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-
134A**

MUHAMMAD AGUNG JUNAID
D021 20 1009

Skripsi

sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Mesin

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI

RANCANG BANGUN ALAT PENGERING RUMPUT LAUT DENGAN SISTEM *VACUUM FREEZE DRYING* MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-134A

MUHAMMAD AGUNG JUNAID

D021 20 1009

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian pada 26 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada

Program Studi Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Mengesahkan:

Pembimbing Utama,



Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME
NIP. 19600302 198609 1 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT
NIP. 19680301 199702 2 001

Mengetahui:

Ketua Program Studi,



Dr. Ir. Muhammad Syahid, ST., MT
NIP. 19770707 200511 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut dengan Sistem *Vacuum Freeze Drying* Menggunakan Refrigeran R-134A" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME sebagai Pembimbing Utama dan (Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT sebagai pembimbing pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 November 2024



Muhammad Agung Junaid

D021201009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji Syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat Rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul **“Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut dengan Sistem Vacuum Freeze Drying menggunakan Refrigeran R-134A”**. Penyusunan skripsi ini merupakan syarat kelulusan dalam menyelesaikan studi untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis memerlukan waktu sekitar 10 bulan hingga dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini. Pengambilan data dilakukan dengan berbagai macam variasi hingga pada akhirnya mendapatkan persetujuan dari pembimbing skripsi. Hal ini dikarenakan data yang diperoleh dari hasil penelitian, tidak serta merta sesuai dengan apa yang diharapkan sehingga diperlukan penyesuaian dan pemecahan masalah untuk mengatasi masalah yang dihadapi. Alhamdulillah semua masalah itu bisa dilewati atas keterlibatan banyak pihak dan doa kedua orang tua yakni **Bapak Junaid** dan **Ibu Rosnadewi** yang tidak ada henti-hentinya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. **Bapak Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME** dan **Ibu Prof. Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT** selaku dosen pembimbing satu dan dosen pembimbing dua atas segala bimbingan selama penelitian hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. **Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT** dan **Ir. Andi Mangkau, MT** selaku dosen penguji atas masukan yang bermanfaat dalam penyusunan skripsi ini.
3. Seluruh staf dan dosen departemen Teknik Mesin atas ilmu dan bantuan selama Kuliah di Teknik Mesin Universitas Hasanuddin.
4. Rekan-rekan Laboratorium Mesin Pendingin dan saudara-saudara Ztator'20 yang telah berjuang bersama dan membantu selama masa penelitian hingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
5. Serta semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan pihak-pihak yang berkepentingan.

Penulis,

Muhammad Agung Junaid

ABSTRAK

MUHAMMAD AGUNG JUNAID. **Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut dengan Sistem *Vacuum Freeze Drying* Menggunakan Refrigeran R-134A** (dibimbing oleh Wahyu H. Piarah dan Zuryati Djafar).

Latar Belakang. Pengeringan ialah tahapan pengolahan yang sangat penting karena merupakan proses pengeluaran air dari dalam bahan, dan proses menggunakan panas untuk menghasilkan produk kering. Proses pengeringan rumput laut secara alami menggunakan bantuan sinar matahari yang membutuhkan waktu pengeringan 3 sampai dengan 4 hari sering menghambat kerja petani, sehingga petani rumput laut sering mengeluh karena cuaca yang tidak menentu terutama pada musim penghujan, petani sering gagal mengeringkan hasil panennya. Pengeringan dengan Teknologi *Vacuum freeze Drying* dapat menjadi solusi untuk masalah tersebut. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis temperatur, tekanan, dan penurunan kadar air selama 3 jam, 5 jam, 7 jam, dan 48 jam untuk 4 jenis metode pengeringan. **Metode.** Dalam studi ini, eksperimen dilakukan dengan empat metode pengeringan yang berbeda yaitu pengeringan beku lalu vakum (B-1LV), pengeringan beku vakum hingga -1°C (B-1V), pengeringan beku vakum 53 jam (BV), dan pengeringan vakum (V). **Hasil.** Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode pengeringan yang paling efisien dalam menurunkan kadar air adalah metode pengeringan beku vakum hingga -1°C (B-1V). secara persentase, metode pengeringan beku vakum hingga -1°C dapat menurunkan kadar air yaitu sebesar 62,5%, 50,7%, 48,7% dan 33,9%. **Kesimpulan.** metode pengeringan beku vakum hingga -1°C (B-1V) terbukti lebih baik dari ketiga metode pengeringan lainnya karena penurunan kadar airnya lebih cepat pada 3 sampai 7 jam awal dibanding ketiga metode lainnya.

Kata kunci: rumput laut, pengeringan, *vacuum freeze drying*, kadar air

ABSTRACT

MUHAMMAD AGUNG JUNAID. ***Design of Seaweed Dryer with Vacuum Freeze Drying System using Refrigerant R-134A*** (supervised by Wahyu H. Piarah and Zuryati Djafar).

Background. Drying is a very important stage of processing because it is the process of removing water from the material, and the process of using heat to produce dry products. The process of drying seaweed naturally using the help of sunlight which requires a drying time of 3 to 4 days often hampers the work of farmers, so seaweed farmers often complain because of uncertain weather, especially in the rainy season, farmers often fail to dry their crops. Drying with Vacuum freeze Drying Technology can be a solution to the problem. **Aim.** This research aims to analyze the temperature, pressure, and moisture content lost in drying for 3 hours, 5 hours, 7 hours, and 48 hours for 4 types of drying methods. **Method.** This research, experiments were conducted with four different drying methods: freeze-drying then vacuum (B-1LV), vacuum freeze-drying to -1°C (B-1V), 53-hour vacuum freeze-drying (BV), and vacuum drying (V). **Results.** The experimental results showed that the most efficient drying method in reducing the moisture content was the vacuum freeze drying method up to -1°C (B-1V). percentage-wise, the vacuum freeze drying method up to -1°C can reduce the moisture content by 62.5%, 50.7%, 48.7% and 33.9%. **Conclusion.** The vacuum freeze-drying method to -1°C (B-1V) proved to be better than the other three drying methods as it reduced the moisture content faster in the initial 3 to 7 hours than the other three methods.

Keywords: seaweed, drying, vacuum freeze drying, moisture content

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	ii
PERNYATAAN PENGAJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	Error!
Bookmark not defined.	
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Landasan Teori.....	3
1.5.1 Pengolahan Rumput Laut	3
1.5.2 Proses Pembekuan	5
1.5.3 Jenis-Jenis Pengeringan	6
1.5.4 Perpindahan Panas	10
1.5.5 Siklus Kompresi Uap	11
1.5.6 Perhitungan Sistem Refrigerasi	13
1.5.7 Efisiensi Pengeringan	14
BAB II METODE PENELITIAN.....	16
2.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
2.2 Alat dan Bahan.....	16
2.2.1 Alat	16
2.2.2 Bahan	22

2.3	Desain dan Skema Alat Pengering Rumput Laut	23
2.3.1	Desain Alat Pengujian.....	28
2.3.2	Skema Rancangan Instalasi Alat Pengering Beku Vakum	230
2.3.3	Karakteristik Alat.....	24
2.4	Metode Pengumpulan Data.....	25
2.4.1	Studi Lapangan (<i>Field Research</i>).....	25
2.4.2	Studi Pustaka (<i>Library Research</i>).....	26
2.5	Prosedur Penelitian	26
2.6	Diagram Alir.....	27
BAB III	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
3.1	Hasil	28
3.1.1	Hasil Perancangan Ruang Pengering.....	28
3.2	Perhitungan Hasil Pengujian Sistem Refrigerasi	28
3.2.1	Variasi Pendinginan Tanpa Menggunakan Pompa Vakum.....	28
3.2.2	Variasi Pendinginan Menggunakan Pompa Vakum	30
3.2.3	Efisiensi Pengeringan	31
3.2.4	Densitas Energi Alat Pengering	35
3.3	Pembahasan	36
BAB IV	KESIMPULAN	54
4.1	Kesimpulan	54
4.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		59

DAFTAR TABEL

Nomor Urut

Halaman

1. Spesifikasi Alat	28
---------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Nomor Urut	Halaman
1. Pohon industri rumput laut berdasarkan jenis senyawa yang dihasilkan	3
2. <i>Typical freezing curve</i>	5
3. Mekanisme terjadinya <i>freeze drying</i>	8
4. Diagram fasa air.....	9
5. Siklus kompresi uap	11
6. Diagram P-h pada siklus kompresi uap.....	12
7. Peta lokasi penelitian	16
8. Kompresor	16
9. Pipa tembaga.....	17
10. Insulasi.....	17
11. Katup ekspansi	16
12. <i>Temperatur input module</i>	17
13. Termokopel	17
14. <i>Manifold gauge</i>	17
15. <i>Pressure Vessel</i>	19
16. <i>Digital moisture meter</i>	19
17. Timbangan digital.....	19
18. <i>Toggle switch on/off</i>	20
19. Manometer.....	20
20. Pompa vakum	20
21. Pipa PVC <i>and cap</i>	21
22. <i>Reservoir</i>	21
23. Pompa air.....	21
24. Selang.....	22
25. Rumput laut.....	22
26. Refrigeran R134A	22
27. Rangkaian alat pengering rumput laut	23
28. Skema rancangan instalasi alat pengering rumput laut	23
29. Evaporator	24
30. Kondensor.....	24
31. Ruang pengeringan.....	24
32. Rak.....	24
33. Area pengambilan data temperatur dan tekanan	26
34. Grafik proses sublimasi pada pengeringan beku lalu vakum	36
35. Grafik proses sublimasi pada pengeringan beku vakum hingga -1°C.....	37
36. Grafik proses sublimasi pada pengeringan beku vakum 53 jam	38
37. Grafik proses sublimasi pada pengeringan vakum.....	39
38. Grafik temperatur rata-rata <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> kompresor.....	40
39. Grafik temperatur rata-rata <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> kondensor.....	41
40. Grafik temperatur rata-rata <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> katup ekspansi.....	42

41. Grafik temperatur rata-rata <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> evaporator	43
42. Grafik temperatur rata-rata <i>inlet</i> dan <i>outlet</i> pada metode pendinginan yang paling efisien	44
43. Diagram COP dan laju aliran massa refrigeran.....	45
44. Temperatur dan tekanan <i>chamber</i> pada pengeringan beku lalu vakum.....	46
45. Temperatur dan tekanan <i>chamber</i> pada pengeringan beku vakum hingga -1°C.....	47
46. Temperatur dan tekanan <i>chamber</i> pada pengeringan beku vakum 53 jam	48
47. Temperatur dan tekanan <i>chamber</i> pada pengeringan vakum.....	49
48. Grafik perbandingan kadar air pada proses pengeringan beku lalu vakum dan pengeringan beku vakum hingga -1°C.....	50
49. Grafik perbandingan kadar air pada proses pengeringan beku vakum hingga -1°C dan pengeringan beku vakum 53 jam	51
50. Grafik perbandingan kadar air pada proses pengeringan beku vakum hingga -1°C dan pengeringan vakum.....	52
51. Grafik perbandingan kadar air pada semua proses pengeringan	53

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor Urut	Halaman
1. Hasil Pengambilan Data.....	59
2. Referensi Perhitungan	72
3. Dokumentasi Penelitian	75

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan sumber daya rumput laut, sehingga berpotensi untuk dikembangkan. Rumput laut memiliki keunggulan yaitu sangat ekonomis, melimpah, dan sangat menarik untuk dijadikan produk pangan. Kualitas dan potensi rumput laut ini membuatnya sangat diminati berbagai negara di dunia, selain itu rumput laut sebagai produk olahan dan rumput laut kering telah banyak diekspor (Litaay, 2022).

Rumput laut atau lebih dikenal dengan sebutan *seaweed* merupakan sumber daya hayati yang sangat melimpah di perairan Indonesia. Keanekaragaman rumput laut di Indonesia merupakan yang terbesar dibandingkan dengan negara lain. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan (2014), total produksi rumput laut Indonesia mencapai 5,6 juta ton pada tahun 2013. Hasil ini menjadikan Indonesia sebagai negara produsen rumput laut terbesar kedua di dunia setelah Cina (Erniati, 2016).

Salah satu sentra pengembangan rumput laut yang sangat potensial di Indonesia adalah Sulawesi Selatan. Sulawesi Selatan memiliki potensi perikanan budidaya sebesar 193.700 ha, dengan pemanfaatan baru sekitar 59.061 (30,49%), sehingga memiliki sekitar 134.639 ha peluang untuk pemanfaatan. Salah satu produk perikanan yang memiliki potensi budidaya, maupun ekspor adalah rumput laut. Rumput laut telah banyak dibudidayakan oleh petani/nelayan di Sulawesi Selatan, namun belum mencapai produksi yang maksimal, mutu yang masih rendah sehingga harga jualnya pun menjadi rendah. Ada 2 jenis rumput laut yang paling banyak dikembangkan oleh petani rumput laut di Sulawesi Selatan, yaitu jenis *Eucheuma cottonii* dan *Gracilaria sp.* *Eucheuma cottonii* banyak dibudidayakan di laut, sedangkan *Gracilaria sp.* banyak dibudidayakan di tambak (Mustapa, 2022).

Rumput laut digunakan di banyak negara sebagai sumber makanan terutama di Asia timur karena dianggap sebagai sumber senyawa bioaktif yang baik dengan efek positif bagi kesehatan. *Eucheuma cottonii* adalah salah satu rumput laut yang mengandung kadar serat yang tinggi, dengan komposisi 27,8% air, 8,6% lemak, 3% serat dan 22,25% abu. Rumput laut juga mengandung asam nukleat, asam amino, vitamin dan mineral (Zhong, 2020).

Eucheuma cottonii merupakan salah satu jenis rumput laut merah yang menghasilkan karaginan, yang berfungsi sebagai suspensi, stabilizer dan memiliki kemampuan menahan air sehingga digunakan sebagai pelembab pada industri kosmetik. Rumput laut *E. cottonii* selain dimanfaatkan dalam bidang kosmetik, dapat juga dimanfaatkan dalam bidang pangan (Sormin, 2019).

Pengeringan merupakan proses pengeluaran air dari dalam bahan, dan proses menggunakan panas untuk menghasilkan produk kering yang bertujuan untuk menghindari kerusakan mikroorganisme, kemunduran fisiologis produk yang segar dan memperpanjang masa simpan. Di samping itu, pengeringan dapat mengurangi

penurunan bobot dan kemasan curah besar, biaya penanganan dan transportasi (Inyang, 2017).

Proses pengeringan rumput laut secara alami menggunakan bantuan sinar matahari yang membutuhkan waktu pengeringan 3 sampai dengan 4 hari sering menghambat kerja petani, sehingga petani rumput laut sering mengeluh karena cuaca yang tidak menentu terutama pada musim penghujan, petani sering gagal mengeringkan hasil panennya (A.A.G Ekayana, 2016)

Berdasarkan uraian di atas penulis tertarik untuk merancang dan membuat alat pengering rumput laut menggunakan proses *vacuum freeze drying*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dan prestasi (COP, temperatur kondensor, temperatur evaporator, dan kerja kompresor) pengering rumput laut sistem pengering beku-vakum dengan refrigerant R-134a pada temperatur pendinginan -1°C ?
2. Bagaimana karakteristik kadar air yang hilang pada pengeringan selama 3 jam, 5 jam, 7 jam, dan 48 jam untuk 4 jenis proses :
 - Beku lalu vakum
 - Beku vakum
 - Beku vakum hingga -1°C
 - Vakum

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis karakteristik dan prestasi (COP, temperatur kondensor, temperatur evaporator, dan kerja kompresor) pengering rumput laut sistem pengering beku-vakum dengan refrigeran R-134a pada temperatur -1°C .
2. Untuk menganalisis karakteristik kadar air yang hilang pada pengeringan selama 3 jam, 5 jam, 7 jam, dan 48 jam untuk 4 jenis proses :
 - Beku lalu vakum
 - Beku vakum
 - Beku vakum hingga -1°C
 - Vakum

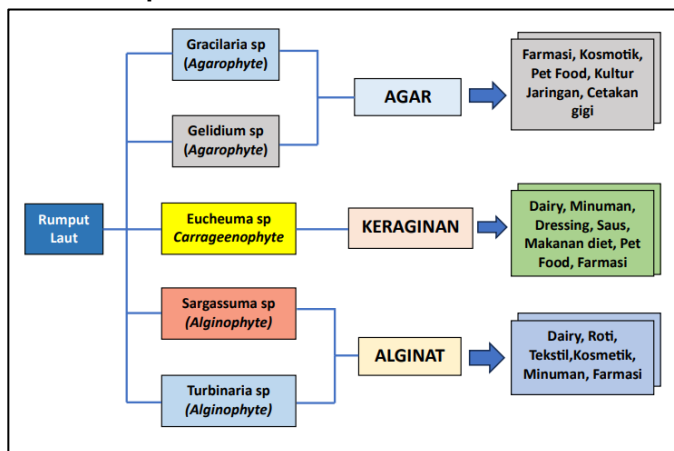
1.4 Batasan Masalah

Untuk memudahkan pelaksanaan penelitian sehingga tujuan dari penelitian dapat dicapai, perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Dimensi *Container prototype* :
Diameter 215 mm dan panjang 510 mm.
2. Menggunakan refrigeran R134a.
3. Massa rumput laut total yang diuji sebesar 500 gram.
4. Bahan yang diteliti adalah rumput laut (*Eucheuma cottonii*).

1.5 Landasan Teori

1.5.1 Pengolahan Rumput Laut



Gambar 1. Pohon industri rumput laut berdasarkan jenis senyawa yang dihasilkan
(Sumber: Hendrawati, 2016)

Rumput laut merupakan ganggang yang hidup di laut dan tergolong dalam divisio *thallophyte*. Genus *Eucheuma* merupakan istilah populer di bidang niaga untuk jenis rumput laut penghasil karaginan. Ciri-ciri *Eucheuma cottonii* adalah thallus dan cabang-cabangnya berbentuk silindris atau pipih, percabangannya tidak teratur dan kasar (sehingga merupakan lingkaran) karena ditumbuhi oleh nodulla atau spine untuk melindungi gametan. Ujungnya runcing atau tumpul berwarna coklat ungu atau hijau kuning. Spina *Eucheuma cottonii* tidak teratur menutupi thallus dan cabang-cabangnya. Permukaan licin, cartilaginous, warna hijau, hijau kuning, abu-abu atau merah. Penampakan thallus bervariasi dari bentuk sederhana sampai kompleks (Hendrawati, 2016).

Lama pemeliharaan tergantung dari jenis rumput laut yang dipelihara namun yang umum adalah 45 hari/siklus, sehingga dalam satu tahun dapat dilakukan panen sebanyak 6–7 kali. Rumput laut diolah dengan berbagai metoda dan teknik untuk memperoleh hasil metabolisme primernya, yaitu senyawa hidrokoloid yang disebut agar-agar, karaginan, alginat dan furcellaran. Sampai saat ini Indonesia sudah memproduksi agar-agar dan karaginan dengan bahan baku dari rumput laut yang dibudidayakan di dalam negeri. Senyawa hidrokoloid memberikan kontribusi cukup besar yaitu sekitar 16% pada pasar *food ingredient*, artinya bahwa pemanfaatan dan sekaligus pasar senyawa hidrokoloid dalam industri makanan memberikan prospek yang baik (Hendrawati, 2016).

Bahan mentah yang terpenting untuk produksi karagenan adalah *carrageenate* dan derivatnya (turunan) seperti *Chondrus crispus* dan berbagai macam *species Gigartina*, khususnya *Gigartina stellata* dan juga *Eucheuma* serta *species Hypnea*.

Karagenan sering kali digunakan dalam industri farmasi sebagai pengemulsi (sebagai contoh dalam emulsi minyak hati), sebagai larutan granulasi dan pengikat (sebagai contoh tablet, *elixier*, sirup, dll). Karagenan digunakan juga dalam industri

kosmetika sebagai stabiliser, suspensi, dan pelarut. Produk kosmetik yang sering menggunakan adalah salep, krem, lotion, pasta gigi, tonic rambut, *stabilizer* sabun, minyak pelindung sinar matahari, dan lainnya. Karagenan juga digunakan dalam industri kulit, kertas, tekstil, dan sebagainya (Pant, 2019). Berikut adalah pengolahan rumput laut mulai dari panen (basah) hingga kering :

1. Pencucian

Rumput laut dicuci dengan air laut (media budidaya) pada saat panen sebelum diangkat ke darat

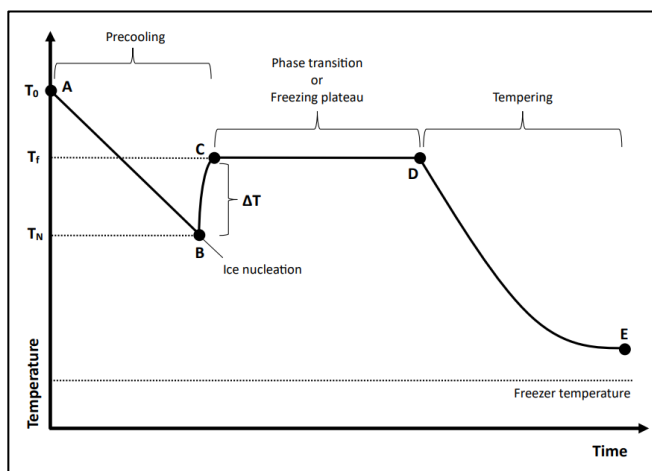
2. Pengeringan/penjemuran

Sebelum pengeringan, kadar air mula-mula yang terdapat dalam *Eucheuma cottonii* sebesar 89% basis basah atau 7,77 gr air/gr rumput laut kering. Pada umumnya, petani tradisional akan mengeringkan rumput lautnya dengan menggantung rumput laut dan/atau meletakkannya di atas hamparan kayu/papan/bambu. Metode ini juga digunakan oleh para petani yang berada di Sabah, Malaysia. Jika pengeringan menggunakan matahari dengan energi sebesar 600 W/m² memerlukan bahwa waktu pengeringan selama 7 jam (Fudholi, 2011). Metode pengeringan rumput laut juga dapat dilakukan pada temperatur rendah menggunakan zeolit (Djaeni, 2015). Perbedaan metode pengeringan berpengaruh terhadap kandungan total fenol, alginat dan proksimat (kadar abu, air, lemak, protein kasar dan serat kasar) pada rumput laut jenis *Sargassum polycystum* (Masduqi, 2014). Setelah dikeringkan dengan *cabinet dryer* pada suhu 60 °C selama 12 jam, maka kadar air dan serat pada rumput laut masing-masing menjadi 17,25% dan 3,85%. Kadar protein dalam *Eucheuma cottonii* adalah 9,67% berat kering, serat 5,91%, dan kadar air sebesar 10,55% (Tamaheang, 2017).

3. Pembersihan kotoran/garam (sortasi)

Pada saat dikeringkan/dijemur, akan terjadi proses penguapan air laut dari rumput laut sehingga membentuk butiran garam pada permukaan thallusnya. Butiran garam tersebut harus dibuang dengan cara mangayak atau mengaduk-aduk agar butiran tersebut jatuh.

1.5.2 Proses Pembekuan



Gambar 2. Typical freezing curve. T_0 , Initial temperature; T_f , Freezing temperature; T_N , Nucleation temperature; ΔT , Degree of supercooling (difference between T_f and T_N)
(Sumber: Sutariya, 2020)

Proses pembekuan melibatkan 3 langkah utama: (i) pendinginan awal, (ii) fase transisi, dan (iii) *tempering*. Selama langkah pendinginan awal (A dan B pada Gambar 2), panas sensibel dihilangkan dari produk untuk menurunkan suhunya. Setelah titik beku (T_f) tercapai, transisi fase biasanya tidak langsung dipicu, namun pendinginan terus berlanjut. Oleh karena itu, pada akhir tahap pra-pendinginan, produk masih berada dalam keadaan tidak beku (*supercooled*) di bawah titik bekunya selama jangka waktu tertentu. Pada tingkat pendinginan super (ΔT) tertentu, nukleasi es terjadi secara tiba-tiba. Hal ini mengakibatkan peningkatan pesat suhu produk karena pelepasan panas laten (B dan C pada Gambar 2). Langkah nukleasi es diikuti oleh transisi fase, juga dikenal sebagai dataran beku (C dan D pada Gambar 2), dan selama langkah ini suhu produk hampir konstan pada T_f (Gambar 2), sedangkan panas laten kristalisasi dihilangkan, dan kristal es tumbuh di produk.

Tingkat pendinginan super yang lebih besar (perbedaan antara suhu beku dan nukleasi) menghasilkan pembentukan nukleasi es dalam jumlah yang lebih besar secara seketika dan, oleh karena itu, semakin pendek waktu transisi fase. Setelah sebagian besar air membeku menjadi es, panas sensibel dihilangkan selama langkah *tempering* (D dan E pada Gambar 2) selama produk didinginkan pada suhu *freezer*. Bentuk akhir, ukuran, dan distribusi kristal es yang terbentuk di seluruh produk bergantung pada laju nukleasi es dan pertumbuhan kristal selanjutnya. Tingkat nukleasi es yang lebih besar dan pertumbuhan kristal selanjutnya mendorong pembentukan kristal es yang lebih kecil, lebih bulat, dan lebih homogen. Salah satu faktor kunci yang mengendalikan nukleasi es adalah pendinginan super dan setiap derajat pendinginan super meningkatkan laju nukleasi es sekitar 10 kali lipat. Dalam air murni, untuk nukleasi homogen diperlukan pendinginan super yang sangat besar. Meskipun pendinginan super diperlukan untuk memulai nukleasi dalam makanan,

pendinginan super umumnya jauh lebih rendah karena adanya banyak partikel padat, zat terlarut, dan permukaan yang bertindak sebagai agen nukleasi. Selain itu, penting untuk dicatat bahwa, dalam pembekuan makanan, gradien termal yang besar biasanya terjadi antara sisi luar dan bagian tengah produk. Jika hal ini terjadi, pendinginan super dan nukleasi hanya terjadi pada permukaan produk yang bersentuhan dengan zat pendingin. Kenaikan suhu disebabkan oleh kristalisasi es umumnya menghambat nukleasi selanjutnya di pusat produk. Pertumbuhan kristal terjadi hanya setelah nukleasi terjadi, melalui penambahan molekul air ke inti yang sudah terbentuk, dan lajunya terutama bergantung pada efisiensi pembuangan panas laten (Sutariya, 2014).

Teknologi pembekuan modern yang ada meliputi *air-blast freezer*, *tunnel freezer*, *belt freezer*, *fluidized bed freezer*, *contact freezer*, *immersion freezer*, *indirect contact freezer*, *plate freezer*, *cryogenic freezer*, *liquid nitrogen freezer* and *liquid carbon dioxide freezer*. Metode yang lebih baru yang muncul ditujukan untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas untuk mencapai pembekuan yang cepat dan mengendalikan proses pembentukan kristal es untuk menghasilkan kristal es yang lebih kecil untuk meminimalkan kerusakan jaringan produk dan meningkatkan kualitas produk. Pendekatan yang paling umum dipilih untuk mengontrol ukuran kristal es adalah dengan memvariasikan laju pendinginan selama pembekuan produk makanan. Secara umum, laju pendinginan yang lebih rendah akan menghasilkan pembentukan kristal es yang lebih besar pada produk makanan yang dapat merusak jaringan makanan dan mempengaruhi teksturnya. Sebaliknya, laju pendinginan yang lebih tinggi akan menghasilkan ukuran kristal es yang lebih kecil sehingga mengurangi kerusakan jaringan dan dampak negatif pada tekstur (Otero, 2000).

1.5.3 Jenis-Jenis Pengeringan

1.5.3.1 Pengeringan Tenaga Surya

Pengeringan dengan tenaga surya terbagi menjadi metode pengeringan langsung dan tidak langsung. Ini adalah metode tradisional yang menggunakan sinar matahari untuk mengeringkan produk makanan. Makanan terkena sinar matahari selama beberapa hari untuk menghilangkan kelembapan dari produk sebelum dikemas. Hal ini sangat umum terjadi di negara-negara berkembang dimana bahan bakar langka dan mahal. Pengeringan dengan sinar matahari merupakan metode pengeringan yang umum digunakan karena sederhana dan murah. Namun kelemahan utama dari metode pengeringan ini adalah kualitas produk yang buruk akibat serangan serangga, kontaminasi debu dan kotoran, waktu pengeringan yang lama, paparan sinar matahari yang tidak diatur, dan laju transmisi panas yang buruk karena kondensasi uap air yang menguap (Sontakke, 2015).

1.5.3.2 Pengeringan Frekuensi Radio

Pengeringan frekuensi radio melibatkan penggunaan energi frekuensi radio untuk memanaskan makanan guna mencapai perlakuan panas yang cepat dan efektif untuk tujuan pengeringan dan telah mendapat penerimaan yang lebih tinggi belakangan ini. Energi frekuensi radio diketahui melepaskan panas secara volumetrik dalam makanan berdasarkan mekanisme gabungan rotasi dipol dan efek

konduksi yang meningkatkan proses pengeringan produk makanan. Namun, proses termal frekuensi radio telah diamati dapat mengurangi penurunan kualitas termal pada produk pengeringan. Namun, kelemahan utama dari pemanasan frekuensi radio adalah pemanasan yang tidak seragam dan pemanasan yang tidak terkendali yang dapat menyebabkan panas berlebih di sudut, tepi, dan bagian tengah, terutama pada makanan dengan kadar air sedang dan tinggi (Alfaifi, 2014).

1.5.3.3 Pengeringan Radiasi

Pengeringan dengan cara radiasi merupakan salah satu metode alternatif yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan yang dihadapi pada pengeringan udara panas. Radiasi gelombang mikro melibatkan penggunaan radiasi elektromagnetik untuk mengeringkan produk makanan. Ini melibatkan penggunaan medan listrik dan magnet untuk menyebarkan panas gelombang mikro ke seluruh ruang. Pengeringan produk makanan dengan menggunakan pemanasan gelombang mikro telah terbukti menghasilkan produk kering berkualitas lebih baik yang memerlukan waktu dan suhu lebih sedikit untuk menghilangkan kelembapan dari produk makanan (Kahyaoglu, 2012). Panas terik telah menjadi masalah pada pemanasan gelombang mikro karena berkurangnya kelembapan menjelang akhir proses pengeringan. Pengeringan dengan gelombang mikro mempunyai keunggulan dalam kemudahan dikombinasikan dengan metode pengeringan lain seperti pengeringan vakum (Borquez, 2014).

1.5.3.4 Pengeringan Beku

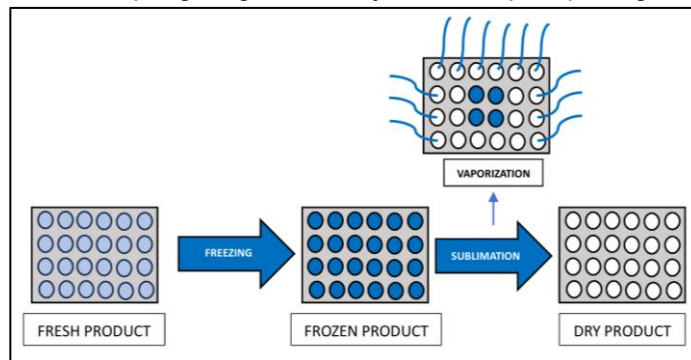
Menurut IFT, “pengeringan beku adalah proses dimana pelarut (biasanya air) dan/atau media suspensi dikristalkan pada suhu rendah dan dihilangkan melalui sublimasi. Sublimasi adalah peralihan langsung air dari wujud padat ke wujud gas tanpa meleleh”. Pengeringan beku merupakan proses pengeringan suatu produk pangan melalui pembekuan dan penghilangan pelarut yang terkait dengan pangan melalui sublimasi langsung. Pengeringan beku disebut juga liofilisasi atau cryodesikasi, karena melibatkan dehidrasi pada suhu rendah melalui pembekuan pada tekanan rendah yang diikuti dengan sublimasi es. Hal ini membedakan pengeringan beku dari kebanyakan metode konvensional di mana air dihilangkan dengan penerapan panas (Rey, 2016).

Freeze drying atau pengeringan beku merupakan teknologi pengeringan non termal dengan menggunakan suhu yang rendah. Alat yang digunakan dalam teknologi pengolahan ini disebut *freeze dryer*. Perbedaan pengeringan beku dengan teknologi pengeringan lain adalah mekanisme dalam menghilangkan kandungan air didalam bahan pangan. Penghilangan kandungan air dalam teknologi ini terjadi pada suhu yang rendah, melalui mekanisme sublimasi, langsung dari bentuk fase padat air (es) ke bentuk gas. Produk pengeringan beku mempunyai beberapa kelebihan diantaranya meminimalkan penyusutan dan perubahan struktural, menghilangkan air lebih cepat, mempertahankan zat gizi dan perubahan minimal pada bau, rasa dan warna (Habibi, 2019).

Proses pengeringan beku bergantung pada penghilangan pelarut dari formulasi cair, proses pertama pertama dibekukan, diberi tekanan rendah untuk sublimasi

pelarut, dan kemudian dilakukan proses desorpsi akhir untuk menghilangkan ventilasi pelarut yang tidak membeku (Hariyadi, 2013).

Prinsip teknologi pengeringan beku dimulai dengan pembekuan kemudian dilanjutkan dengan pengeringan, yaitu mengeluarkan atau memisahkan hampir sebagian besar air dalam bahan yang terjadi melalui mekanisme sublimasi (Nowak, 2020). Secara ilustrasi pengeringan beku dijelaskan seperti pada gambar berikut:



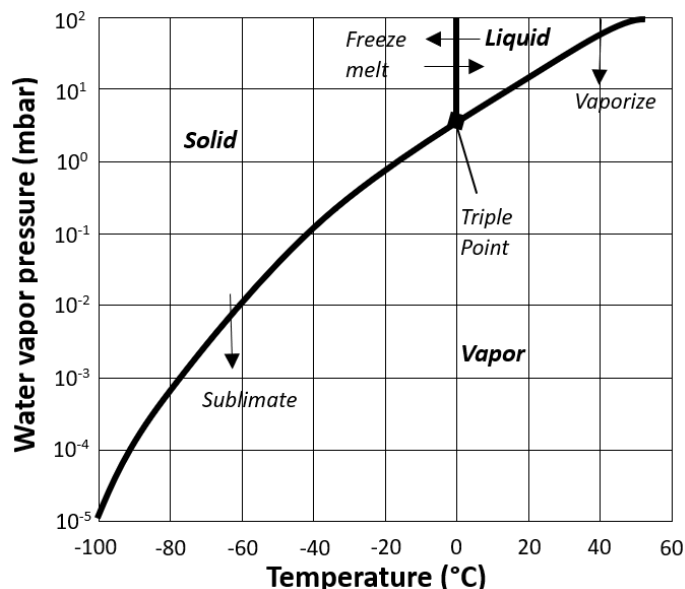
Gambar 3. Mekanisme terjadinya *freeze drying*
(Sumber: Nowak, 2020)

Gambar diatas menjelaskan bahwa dengan mengendalikan kondisi tekanan (P) dan suhu (T), air dapat berbentuk gas (uap), cair (air) atau padatan (es). Proses pengeringan beku terdiri dari dua tahap, yaitu pembekuan (*freezing*), dan pengeringan (Nowak, 2020).

1.5.3.5 Pengeringan Vakum

Pengeringan vakum merupakan metode pengeringan untuk mengeluarkan air dalam bahan yang dikeringkan dengan cara menurunkan tekanan parsial uap air dari udara di dalam ruang pengering. Tekanan parsial uap air di dalam ruang pengering yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dapat berpengaruh terhadap kecepatan pengeringan, sehingga prosesnya lebih singkat walaupun suhu yang digunakan lebih rendah daripada suhu yang digunakan pada saat pengeringan di dalam ruang pengering dengan tekanan atmosfer.

Sistem pengeringan pada alat ini menggunakan udara vakum agar titik didih dari uap air mengalami penurunan, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu rendah. Alat pengering vakum ini sangat membantu produk-produk ini akan kehilangan aroma dan rasa apabila dikeringkan pada suhu tinggi. Metode pengeringan vakum memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode konvensional diantaranya adalah proses pengeringan yang relatif lebih cepat dan produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang sangat baik yaitu cita rasa, tekstur dan kandungan gizi produk yang dikeringkan tidak mengalami kerusakan. Alat pengering vakum ini sangat membantu produk-produk ini akan kehilangan aroma dan rasa apabila dikeringkan pada suhu tinggi (Setyadi, 2021).



Gambar 4. Diagram fasa air
(Sumber: Nowak, 2020)

Sublimasi adalah perubahan wujud dari padat ke gas tanpa mencair terlebih dahulu dengan menggunakan diagram fase air pada Gambar 2.2 bisa diketahui bahwa dengan mengendalikan kondisi tekanan (P) dan suhu (T), air dapat berbentuk gas (uap), cair (air) atau padatan (es). Pada kondisi tertentu yaitu pada kondisi tekanan 4,58 torr (610,5 Pa) dan suhu 0°C, air akan berada pada kondisi kesetimbangan antara uap, air, dan es. Titik dimana terjadi kesetimbangan antar ketiga fase tersebut disebut sebagai titik tripel. Titik triple untuk air terjadi pada tekanan (P) 4.58 torr dan suhu (T) = 0°C. Untuk bahan dalam kondisi beku pada tekanan yang dipertahankan tetap dibawah tekanan triple ($P_t = 4,58$ torr), dan kemudian suhu produk dinaikkan maka yang terjadi adalah peristiwa sublimasi, yaitu perubahan fase dari padat (es) ke uap (Nowak, 2020)

1.5.3.6 Pengerinan Osmotik

Pengerinan osmotik melibatkan penggunaan larutan hipertonik untuk mengeringkan produk makanan. Proses pengeringan melibatkan penghilangan air dari jaringan tanaman dengan cara direndam dalam larutan hipertonik yang mengakibatkan perbedaan konsentrasi antara kelembaban makanan yang akan dikeringkan dan larutan. Dalam pengeringan osmotik, penghilangan air disebabkan oleh fenomena osmosis melintasi membran sel yang alami dan tidak merusak. Tekanan osmotik yang tinggi dari larutan hipertonik memberikan kekuatan pendorong yang diperlukan untuk difusi air dari jaringan ke dalam larutan (Ishfaq, 2016).

1.5.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari dengan rinci mekanisme perpindahan panas. Terjadinya perpindahan panas karena ada perbedaan temperatur antara 2 (atau lebih) tempat/benda/zat dan panas akan berpindah dari temperatur tinggi ke tempat yang temperaturnya lebih rendah. Mekanisme perpindahan panas ada tiga cara yaitu: konduksi (secara molekuler), konveksi (secara aliran) dan radiasi (secara gelombang elektromagnet, pancaran, sinaran).

Pada peristiwa konduksi, panas akan berpindah tanpa diikuti aliran medium perpindahan panas atau medianya (padat, cair, gas) tidak mengalir. Panas akan berpindah secara estafet dari satu partikel ke partikel yang lainnya dalam medium tersebut. Pada benda padat, satu-satunya cara untuk memindah panas adalah konduksi. Pada peristiwa konveksi, perpindahan panas terjadi karena terbawa aliran fluida. Secara termodinamika, konveksi dinyatakan sebagai aliran entalpi, bukan aliran panas. Pada peristiwa radiasi, energi berpindah melalui gelombang elektromagnetik (Utami, 2017).

1.5.4.1 Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih berenergi dari suatu zat ke partikel yang kurang energinya sebagai akibat interaksi antar partikel. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair, atau gas. Dalam gas dan cairan, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acaknya. Dalam padatan, hal ini disebabkan oleh kombinasi getaran molekul dalam kisi dan transpor energi oleh elektron bebas. Minuman kaleng dingin di ruangan hangat, misalnya, pada akhirnya akan menghangat hingga mencapai suhu ruangan akibat perpindahan panas dari ruangan ke minuman melalui kaleng aluminium secara konduksi.

Laju konduksi panas melalui suatu medium bergantung pada geometri medium, ketebalannya, dan bahan medium, serta perbedaan suhu antar medium. Kita tahu bahwa membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) mengurangi laju kehilangan panas dari tangki. Semakin tebal isolasinya, semakin kecil kehilangan panasnya. Kita juga tahu bahwa tangki air panas akan kehilangan panas dengan kecepatan lebih tinggi ketika suhu ruangan yang menampung tangki tersebut diturunkan. Selanjutnya, semakin besar tangki, semakin besar luas permukaan dan laju kehilangan panas (Cengel, 2003).

1.5.4.2 Konveksi

Konveksi adalah cara perpindahan energi antara permukaan padat dan cairan atau gas di dekatnya yang sedang bergerak, dan ini melibatkan efek gabungan konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerak fluida maka perpindahan panas konveksi semakin besar. Dengan tidak adanya gerakan fluida massal, perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida di dekatnya terjadi secara konduksi murni. Adanya gerakan sebagian besar fluida meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida, namun juga mempersulit penentuan laju perpindahan panas (Cengel, 2003).

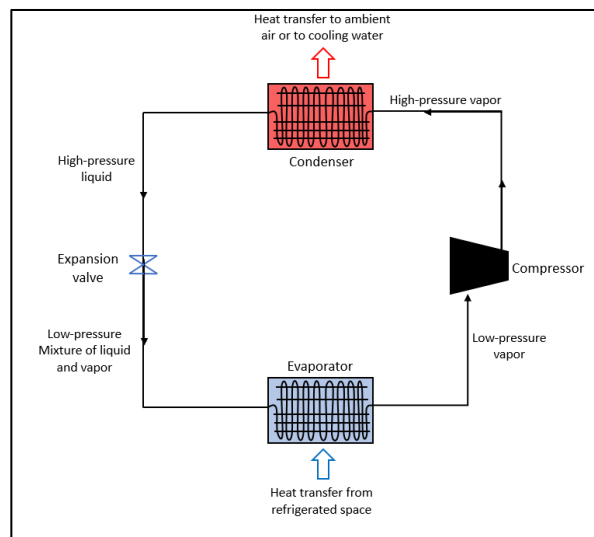
1.5.4.3 Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul. Berbeda dengan konduksi dan konveksi, perpindahan energi melalui radiasi tidak memerlukan adanya medium perantara.

Radiasi adalah fenomena volumetrik, dan semua benda padat, cair, dan gas memancarkan, menyerap, atau mentransmisikan radiasi dalam derajat yang berbeda-beda. Namun, radiasi biasanya dianggap sebagai fenomena permukaan padatan yang buram terhadap radiasi termal seperti logam, kayu, dan batu karena radiasi yang dipancarkan oleh bagian dalam bahan tersebut tidak akan pernah mencapai permukaan, dan radiasi yang terjadi pada benda tersebut tidak akan pernah mencapai permukaan (Cengel, 2003).

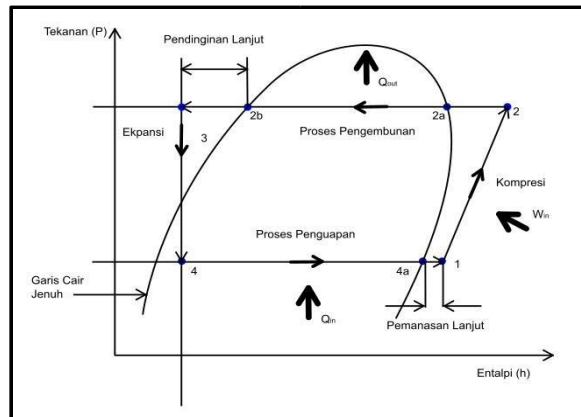
1.5.5 Siklus Kompresi Uap

Pengeringan beku bekerja menggunakan siklus kompresi uap, dengan fluida kerja yang disebut dengan refrigeran. Komponen komponen dari siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan pipa kapiler. Skematik rangkaian siklus kompresi uap seperti pada gambar 5. diagram P-h siklus kompresi uap ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 5. Siklus kompresi uap.
(Sumber: Borgnakke, 2008)

Proses dari skema kompresi uap adalah :



Gambar 6. Diagram P-h pada siklus kompresi uap.
(Sumber: Martino, 2015)

1. Proses kompresi (proses 1-2)

Tahap 1 - 2 pada gambar 4 proses yang terjadi adalah kompresi dilakukan oleh kompresor. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk ke kompresor adalah gas panas lanjut bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi gas panas lanjut bertekanan tinggi. Proses kompresi berlangsung secara isentropik.

2. Proses penurunan suhu gas panas lanjut menjadi gas jenuh (proses 2 - 2a)

Tahap 2 - 2a pada gambar 4 proses penurunan suhu dari gas panas lanjut menjadi gas jenuh terjadi. refrigeran mengalami penurunan suhu pada tekanan tetap. Hal ini terjadi akibat adanya kalor yang berpindah ke lingkungan, karena suhu refrigeran lebih tinggi dari suhu lingkungan.

3. Proses kondensasi (proses 2a - 2b)

Tahap 2a - 2b pada gambar 4 proses ini terjadi pada kondensor yang dimana gas jenuh mengalami perubahan fase dari gas jenuh menjadi cair jenuh pada tekanan tetap. Proses ini disebabkan akibat adanya perpindahan panas dari kondensor ke lingkungan karena suhu kondensor lebih tinggi dari suhu udara lingkungan.

4. Proses pendinginan lanjut (proses 2b - 3)

Tahap 2b - 3 pada gambar 4 proses yang terjadi penurunan suhu refrigeran dan berlangsung pada tekanan konstan dalam fasa cair. Proses pendinginan lanjut dibutuhkan agar kondisi refrigeran keluar kondensor benar benar dalam fasa cair sebelum masuk ke pipa kapiler.

5. Proses penurunan tekanan (proses 3 - 4)

Tahap 3 - 4 pada gambar 4 proses yang terjadi refrigeran dalam fasa cair mengalir menuju pipa kapiler dan mengalami penurunan tekanan dan suhu.

Sehingga suhu dari refrigeran lebih rendah dari temperatur lingkungan. Pada tahap ini refrigeran berubah fasa dari cair ke fasa campuran cair dan gas.

6. Proses penguapan (proses 4 - 4a)

Tahap 4 - 4a pada gambar 4 proses yang terjadi refrigeran mengalir ke evaporator dengan tekanan dan temperatur rendah sehingga akan menerima kalor dari lingkungan yang akan didinginkan sehingga fasa dari refrigeran akan berubah seluruhnya menjadi gas jenuh.

7. Proses pemanasan lanjut (proses 4a - 1)

Tahap 4a - 1 pada gambar 4 proses yang terjadi uap refrigeran yang mengalir setelah evaporator mengalami pemanasan lanjut sebelum masuk ke kompresor.

1.5.6 Perhitungan Sistem Refrigerasi

Berdasarkan diagram tekanan-entalpi (ph), entalpi (h) dalam siklus kompresi dapat diketahui, sehingga dapat diketahui kerja kompresor, energi kalor yang diserap evaporator, energi kalor yang dikeluarkan kompresor, *coefficient of performance* (COP) dari mesin kompresi uap.

1. Kerja Kompresor (W_k)

Kerja kompresor persatuan massa refrigeran merupakan entalpi dititik 1 ke 2, persamaan yang digunakan (Martino, 2015):

$$W_K = I \times V \quad (1)$$

Keterangan:

- W_k = Kerja kompresor, (kJ/kg)
- I = Arus yang digunakan kompresor, (ampere)
- V = Tegangan yang digunakan kompresor, (volt)

2. Laju Aliran Massa Refrigeran

Laju aliran massa refrigeran dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Martino, 2015):

$$\dot{m} = \frac{W_K \times 1000}{(h_1 - h_2)} \quad (2)$$

Keterangan:

- W_k = Kerja kompresor, (kJ/kg)
- h_2 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar kompresor, (kJ/kg)
- h_1 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk kompresor, (kJ/kg)
- $\dot{m}$ = Laju aliran massa refrigeran, (kg/s)

3. Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor (Q_{out})

Energi kalor yang dilepaskan oleh kondensor merupakan perubahan entalpi dititik 2 ke 3, persamaan yang digunakan (Martino, 2015):

$$Q_{out} = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (3)$$

Keterangan:

- Q_{out} = Energi kalor yang dilepaskan kondensor, (kJ/kg)
- h_2 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk kondensor, (kJ/kg)
- h_3 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar kondensor, (kJ/kg)

4. Energi kalor yang diserap oleh evaporator (Q_{in})

Energi yang diserap evaporator merupakan entalpi dititik 4 ke 1, persamaan yang digunakan [29]: yang digunakan (Martino, 2015):

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \quad (4)$$

Keterangan:

- Q_{in} = Energi kalor yang dilepaskan kondensor, (kJ/kg)
 h_1 = Nilai entalpi refrigeran saat masuk kondensor, (kJ/kg)
 h_4 = Nilai entalpi refrigeran saat keluar kondensor, (kJ/kg)

5. *Coefficient of Performance* (COP)

Coefficient of performance siklus kompresi uap standar dapat dihitung dengan persamaan (Martino, 2015):

$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{in}} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \quad (5)$$

1.5.7 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah energi untuk menguapkan air bahan dengan energi yang dihasilkan dari energi listrik, dengan menggunakan persamaan (Suhendar, 2017):

$$\eta_p = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

- η_p = Efisiensi pengeringan, (%)
 Q_{out} = Energi yang digunakan, (kJ)
 Q_{in} = Energi listrik, (kJ)

1. Beban uap air

Beban uap air adalah jumlah uap air yang harus diuapkan hingga mencapai kadar air yang diinginkan. Beban uap air dihitung berdasarkan persamaan berikut (Suhendar, 2017):

$$VP = \frac{(K_{Abb_{wet}} - K_{Abb_{dry}})}{(100 - K_{Abb_{wet}})(100 - K_{Abb_{dry}})} \times m \quad (7)$$

Keterangan:

- VP = Beban uap air, (kg H_2O)
 $K_{Abb_{wet}}$ = Kadar air sebelum dikeringkan, (%bb)
 $K_{Abb_{dry}}$ = Kadar air setelah dikeringkan, (%bb)
 m = massa bahan awal, (kg)

2. Energi yang digunakan (Q_{out})

Jumlah energi yang dibutuhkan selama pengeringan dapat dihitung dengan persamaan (Suhendar, 2017) :

Nilai H_{fg} di dapat dari hasil interpolasi pada tabel Termodinamika (dengan temperatur awal bahan yang diketahui yaitu 27°C)

$$H_{fg} = 2437,57$$

$$Q_{out} = Q_1 + Q_2 \quad (8)$$

Keterangan:

Q_{out} = Jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan dan menguapkan air bahan, (kJ)

Q_1 = Jumlah panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan, (kJ)

Q_2 = Jumlah panas yang digunakan untuk memanaskan bahan, (kJ)

$$Q_1 = VP \times H_{fg} \quad (9)$$

Keterangan:

Q_1 = Energi untuk menguapkan air bahan, (kJ)

VP = Beban uap air, (kg H_2O)

H_{fg} = Panas laten, (kJ/kg)

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta T \quad (10)$$

$$C_p = (M_1 \times C_{p_{air}}) + (M_2 \times C_{p_{rumput\ laut}}) \quad (11)$$

Keterangan:

m = Massa bahan yang dikeringkan, (kg)

C_p = Panas jenis bahan, (kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)

ΔT = Kenaikan temperatur bahan, ($^{\circ}\text{C}$)

M_1 = Kandungan air dalam rumput laut

M_2 = Kandungan kadar rumput laut

3. Energi listrik (Q_{input})

$$Q_{input} = Q_{listrik} \times t \quad (8)$$

Keterangan:

Q_{input} = Energi listrik yang digunakan, (kJ)

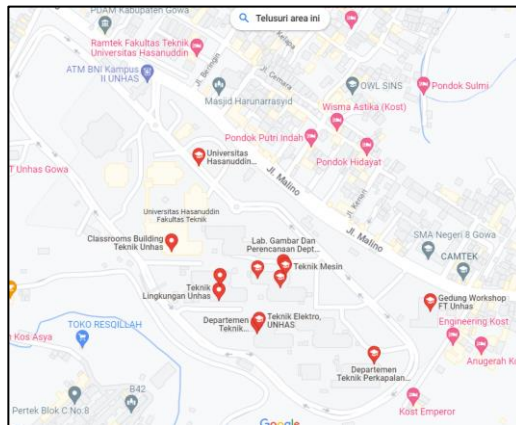
$Q_{listrik}$ = Konsumsi energi listrik, (kW)

t = Lama waktu pemakaian listrik, (detik)

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2023 sampai Oktober 2024 bertempat di Laboratorium Mesin Pendingin dan Pemanas Departemen Teknik Mesin Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan.



Gambar 7. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

1. Kompresor

Kompresor berfungsi untuk meningkatkan tekanan dan memompa refrigeran ke kondensor.



Gambar 8. Kompresor

2. Pipa Tembaga

Pipa tembaga berfungsi sebagai saluran untuk mengalirkan refrigerant ke komponen-komponen sistem refrigrasi dan sebagai tempat terjadinya perpindahan kalor.

Diameter 1 : 1/4 in
 Diameter 2 : 1/4 in
 Ketebalan : 0,7 mm



Gambar 9. Pipa Tembaga

3. Insulasi

Insulasi berfungsi untuk menjaga temperatur udara agar tidak terbang kelingkungan atau mengurangi terjadinya *heat loss* yang terbang kelingkungan.



Gambar 10. Insulasi

4. Katup Ekspansi

Katup ekspansi berfungsi untuk menurunkan tekanan dan temperatur *refrigerant* sebelum masuk evaporator.

Merk : Castel
 Orifice : 0,4



Gambar 11. Katup Ekspansi

5. *Temperature Input Module*

Modul berfungsi untuk membaca data temperatur yang diberikan oleh termokopel dan kemudian merekam data ke komputer.



Gambar 12. *Temperature Input Module*

6. Termokopel

Termokopel digunakan sebagai sensor yang mengukur temperatur yang ingin ditinjau.



Gambar 13. Termokopel

7. *Manifold Gauge*

Manifold gauge digunakan untuk mengukur tekanan dan alat untuk mengisi refrigerant pada alat pendingin.



Gambar 14. *Manifold Gauge*

8. *Pressure Vessel*

Vessel berfungsi sebagai ruangan pengeringan rumput laut.



Gambar 15. *Pressure Vessel*

9. *Digital Moisture Meter*

Digital Moisture Meter digunakan untuk mengukur kadar air rumput laut.



Gambar 2. *Digital Moisture Meter*

10. Timbangan Digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa rumput laut.



Gambar 3. Timbangan Digital

11. Toggle Switch On/Off

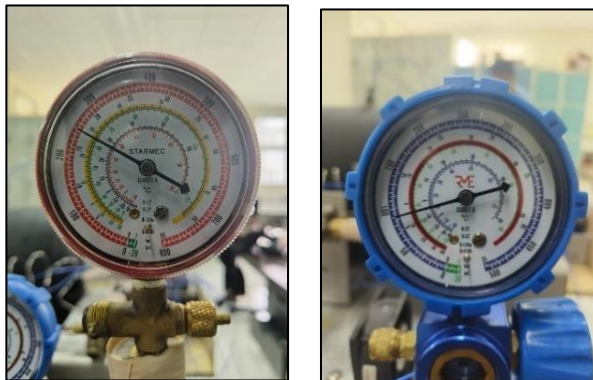
Toggle Switch On/Off digunakan untuk menyalakan dan mematikan komponen elektronik pada alat.



Gambar 4. *Toggle Switch On/Off*

12. Manometer/Pressure gauge

Manometer / pressure gauge digunakan untuk mengukur tekanan.



Gambar 5. *Manometer/Pressure gauge*

13. Pompa Vakum

Pompa vakum berfungsi untuk mengurangi tekanan di dalam ruang pengeringan.



Gambar 20. Pompa Vakum

14. Pipa PVC dan Cap

Pipa PVC dan Cap berfungsi sebagai wadah kondensor.



Gambar 21. Pipa PVC dan Cap

15. Reservoir

Reservoir berfungsi sebagai wadah untuk menampung air yang akan digunakan untuk membuang panas dari kondensor.



Gambar 22. Reservoir

16. Pompa Air

Pompa Air berfungsi untuk memompa air dari *reservoir* ke kondensor.



Gambar 23. Pompa Air

17. Selang

Selang digunakan untuk mengalirkan air dari *reservoir* ke kondensor



Gambar 24. Selang

2.2.2 Bahan

1. Rumput Laut

Rumput laut jenis *eucheuma cottonii* yang digunakan sebagai objek penelitian.



Gambar 25. Rumput laut

2. Refrigeran R134a

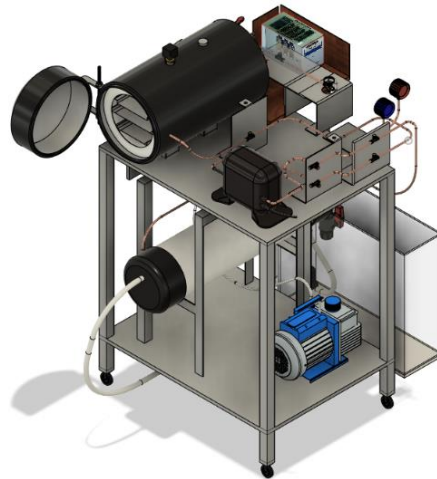
Refrigeran R134a yang digunakan sebagai fluida kerja dari sistem refrigerasi.



Gambar 26. Refrigeran R134A

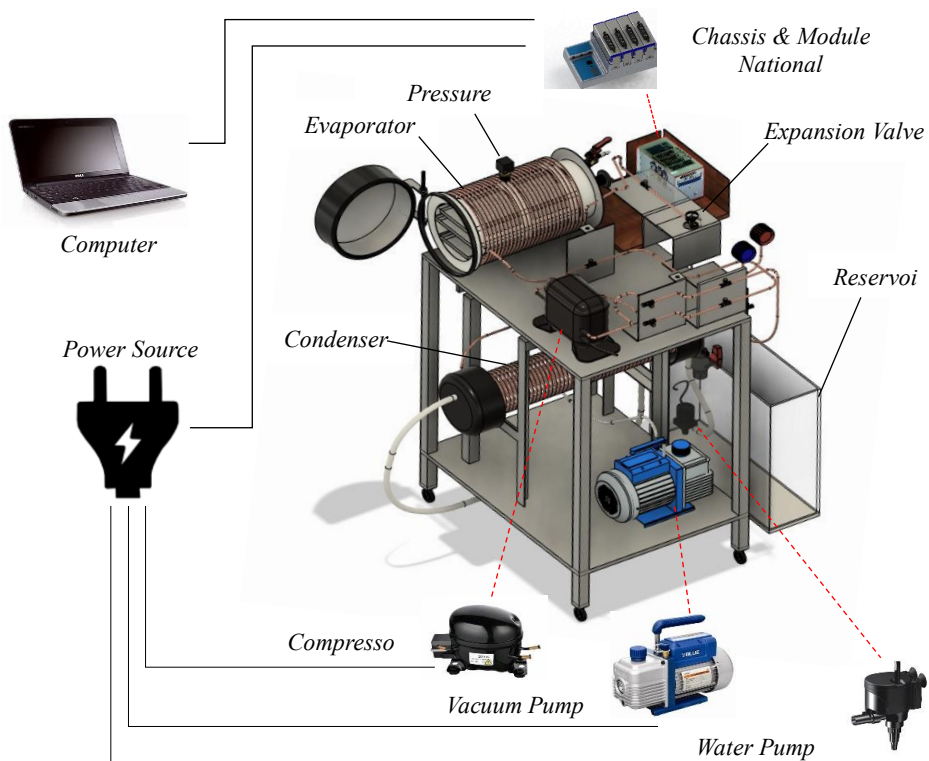
2.3 Desain dan Skema Alat Pengering Rumput Laut

2.3.1 Desain Alat Pengujian



Gambar 27. Rangkaian Alat Pengering Rumput Laut

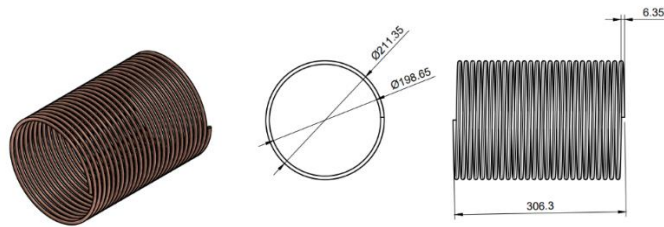
2.3.2 Skema Rancangan Instalasi Alat Pengering Beku Vakum



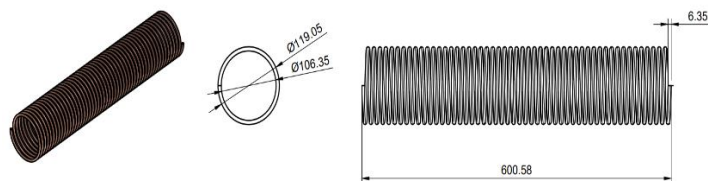
Gambar 28. Skema Rancangan Instalasi Alat Pengering Rumput Laut

2.3.3 Karakteristik Alat

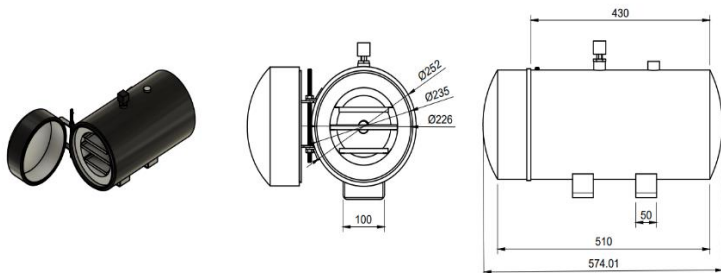
Adapun dimensi dari komponen-komponen dari alat pengering ini adalah sebagai berikut :



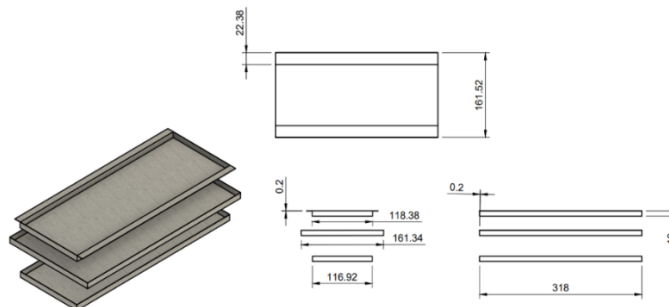
Gambar 29. Evaporator



Gambar 30. Kondensor



Gambar 31. Ruang Pengeringan



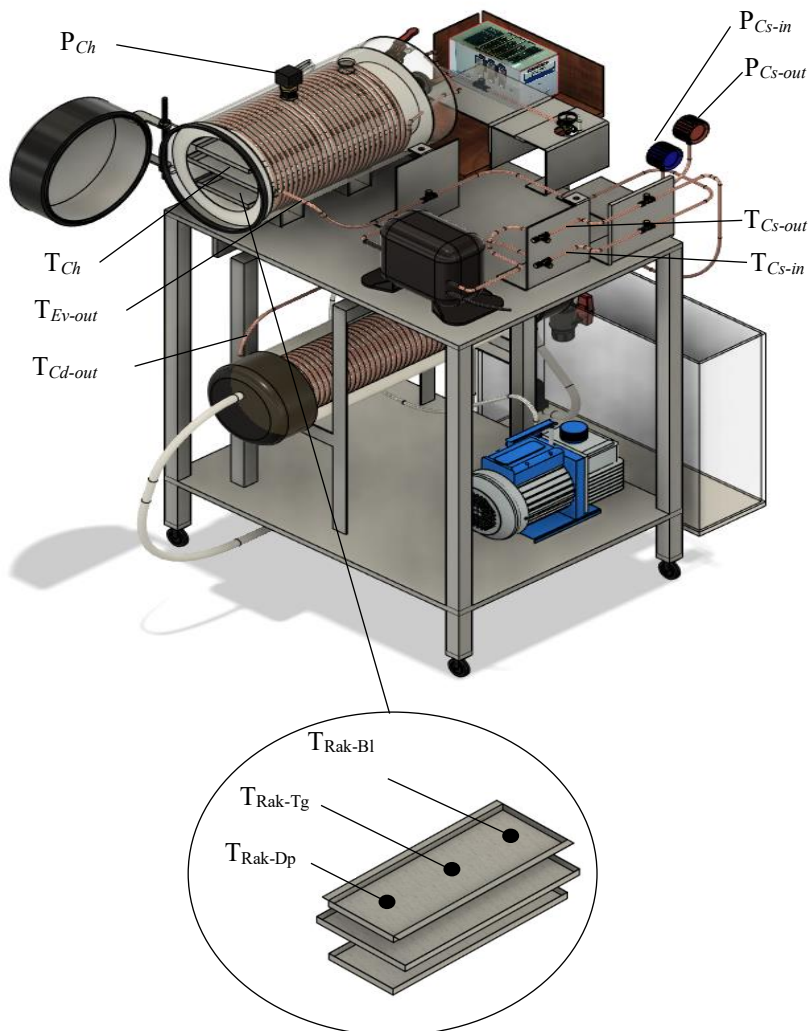
Gambar 32. Rak

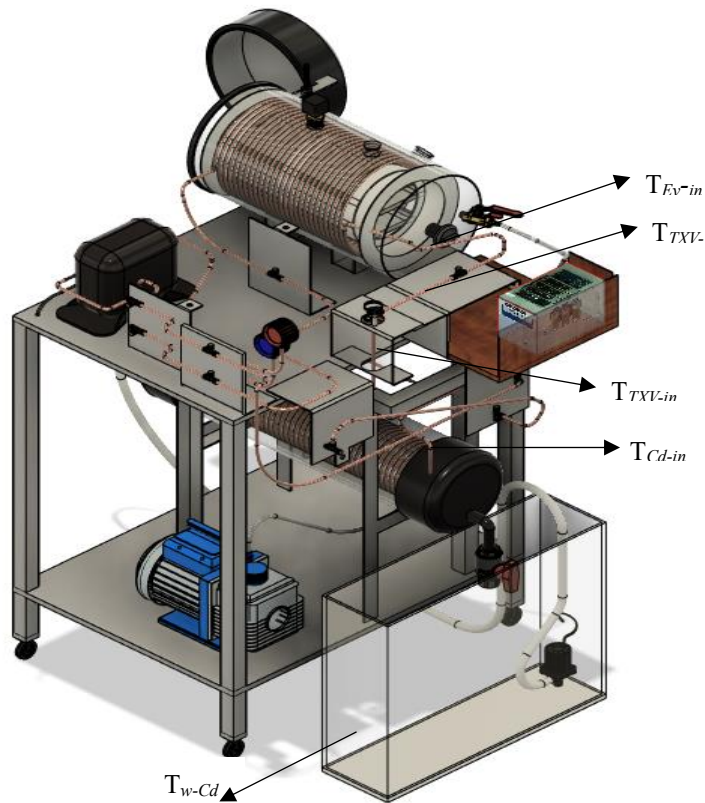
2.4 Metode Pengumpulan Data

2.4.1 Studi Lapangan (*Field Research*)

Studi lapangan merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan mengumpulkan data langsung dari analisa yang dilakukan dari tempat penelitian, meliputi setiap hasil penelitian, foto - foto, dan data yang relevan terhadap penelitian. Ini bisa berbentuk tulisan dan gambar sehingga mengelolanya dalam bentuk tabel dan grafik.

Adapun data yang dikumpulkan sebagai berikut :





Gambar 33. Area Pengambilan Data Temperatur dan Tekanan

2.4.2 Studi Pustaka (*Library Research*)

Studi pustaka merupakan pengambilan data yang diperoleh dengan membaca dan mengumpulkan data-data teoritis melalui buku-buku, tulisan ilmiah, literatur serta catatan perkuliahan yang bersangkutan dengan masalah-masalah yang akan dibahas, sehingga diperoleh landasan yang digunakan dalam pemecahan masalah tersebut.

2.5 Prosedur Penelitian

1. Pompa vakum dan kompresor terhubung dengan sumber listrik.
2. Rumput laut ditimbang sebanyak 500 gram, lalu dimasukkan ke dalam *Chamber* (Ruang Pengeringan).
3. Hidupkan sistem refrigerasi dan tunggu sampai temperatur evaporator kurang dari -20°C , dan temperatur kondensor 40°C (perancangan).
4. Menunggu proses pembekuan berlangsung sampai temperatur didalam *Chamber* mencapai -1°C , lalu matikan kompresor, kemudian hidupkan pompa vakum.
5. Setelah pompa vakum dinyalakan, dilakukan pencatatan kadar air yang hilang pada waktu pengeringan selama 3 jam, 5 jam, 7 jam, dan 48 jam.

2.6 Diagram Alir

Sistematika dari penelitian ini dapat kita tinjau pada diagram alir sebagai berikut:

