

KAJI EKSPERIMENTAL PERFORMA MESIN *FREEZE DRYING*
DENGAN BEBAN IKAN BANDENG



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

MONA REZKY MANSYUR
RANDI A PANDI

442 16 009
442 16 024

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* Dengan Beban
Ikan Bandeng



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Mona Rezky Mansyur	442 16 009
Randi A Pandi	442 16 024

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2020

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul "Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* dengan Beban Ikan Bandeng" oleh Mona Rezky Mansyur NIM 442 16 009 dan Randi A Pandi NIM 442 16 024 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 24 September 2020

Mengesahkan,

Pembimbing I



Dr. Ir. Firman, M.T.
NIP. 19641231 199103 1 028

Pembimbing II.



Dr. Jamal, S.T., M.T.
NIP. 19730228 200012 1 002

Mengetahui,

Koordinator Program Studi
D4 Teknik Pembangkit Energi,



Ir. Gandra Bruana, M.T.
NIP. 19650419 199103 1 003

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Kamis tanggal 24 September 2020 tim penguji ujian sidang skripsi telah menerima skripsi mahasiswa: Mona Rezky Mansyur NIM 442 16 009 dan Randi A Pandi NIM 442 16 024 dengan judul “Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* dengan Beban Ikan Bandeng.”

Makassar, 24 September 2020

Tim ujian sidang skripsi:

- | | | |
|--------------------------------|---------------|---------|
| 1. Ir. Nur Hamzah, M.T., Ph.D. | Ketua | (.....) |
| 2. Marhatang, S.ST., M.T. | Sekretaris | (.....) |
| 3. Abdul Rahman, S.T, M.T. | Anggota | (.....) |
| 4. Dr. Ir. Firman, M.T. | Pembimbing I | (.....) |
| 5. Dr. Jamal, S.T., M.T. | Pembimbing II | (.....) |

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Rabbil 'Aalamiin penulis panjatkan kehadirat Allah Subhana Wa Ta'ala, karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Salawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada manusia terbaik sepanjang sejarah Nabi Muhammad Sallallahu 'Alaihi Wasallam.

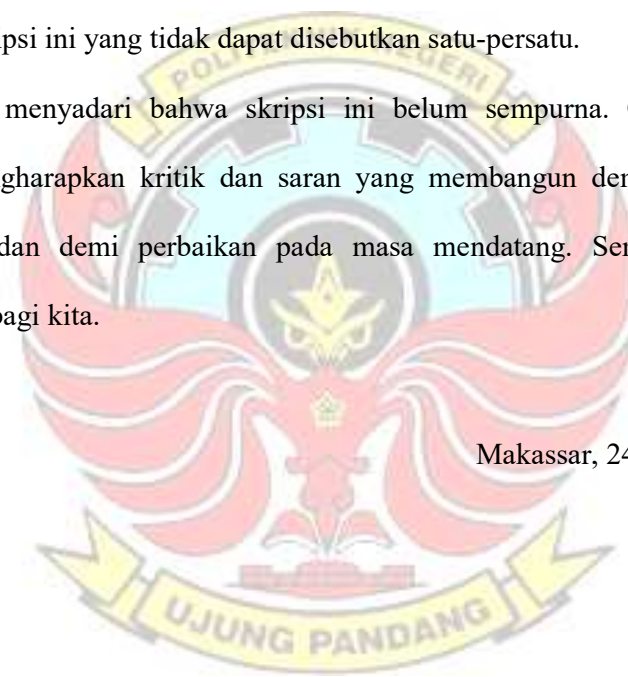
Dalam penulisan skripsi ini tidak sedikit hambatan yang penulis alami. Namun berkat bantuan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat teratasi. Sehubungan dengan itu, pada kesempatan dan melalui lembaran ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Orang tua, dan saudara-saudara penulis yang telah banyak memberikan dukungan moril, materil, dan memberikan semangat serta motivasi selama pengerjaan skripsi sehingga bisa diselesaikan tepat waktu.
2. Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang Bapak Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.;
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin, Bapak Rusdi Nur, S.ST., M.T., Ph.D.;
4. Ketua Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Bapak Ir. Chandra Bhuana, M.T.;
5. Bapak Dr. Ir. Firman, M.T., sebagai pembimbing I dan Dr. Jamal, S.T., M.T., sebagai pembimbing II yang telah mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Segenap dosen dan staf Jurusan Teknik Mesin dan Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah banyak membantu penulis.
7. Bapak dan Ibu Dosen selaku staf pengajar di Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan bimbingan perkuliahan.
8. Seluruh teman-teman seangkatan Teknik Pembangkit Energi, terimakasih atas bantuan dan dukungannya selama ini.
9. Rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu dan memberikan masukan untuk skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan demi perbaikan pada masa mendatang. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi kita.

Makassar, 24 September 2020



Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PENERIMAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
SURAT PERNYATAAN.....	xi
RINGKASAN	xii
<i>SUMMARY</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kualitas dan Mutu Ikan Bandeng	6
2.2 Pengeringan Beku (<i>Freeze Drying</i>)	8
2.3 <i>Freezer</i>	10
2.4 Performa Pengeringan Beku	14
2.5 <i>Ejector</i>	15
2.6 Laju Pengeringan	17

BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	19
3.3 Prosedur Penelitian	19
3.4 Langkah Pengujian	25
3.5 Teknik Analisis Data	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil	28
4.1.1 Hasil Rancangan Ruang Pengeriing.....	28
4.1.2 Hasil Rancangan Sistem Fefrigerasi	29
4.1.3 Pengujian Mesin <i>Freeze Drying</i>	40
4.2 Pembahasan	45
BAB V PENUTUP	49
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	54



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Beban Kalor Rancangan Sistem Refrigerasi.....	31
---	----



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fasa Air	8
Gambar 2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap	10
Gambar 2.3 Siklus Refrigerasi	11
Gambar 2.4 Perubahan Tekanan Sepanjang <i>Ejector</i>	15
Gambar 2.5 Perubahan Kecepatan Sepanjang <i>Ejector</i>	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 Sistem Kerja <i>Freeze Drying</i>	21
Gambar 3.3 Skema Sistem <i>Freeze Drying</i>	21
Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan <i>Freeze Drying</i>	22
Gambar 3.5 Perancangan Ruang Pengering.....	23
Gambar 3.6 Diagram Alir Pembuatan <i>Freeze Drying</i>	24
Gambar 3.7 Diagram Alir Pengeringan Ikan Bandeng dan Pengambilan Data ...	26
Gambar 4.1 Grafik Kevakuman Ruang Pengering	28
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Efek Refrigerasi.....	39
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Laju aliran Massa Refrigeran	39
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan COP	40
Gambar 4.5 Grafik Penurunan Suhu Terhadap Waktu Tanpa Pompa Vakum dan <i>Ejector</i>	40
Gambar 4.6 Grafik Penurunan Suhu Terhadap Waktu dengan <i>Ejector</i>	41
Gambar 4.7 Grafik Penurunan Suhu Terhadap Waktu dengan Pompa Vakum ...	41
Gambar 4.8 Grafik Laju Pendinginan Ikan Bandemg	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengujian	54
Lampiran 1.1	Tabel Data Pengujian Kevakuman Ruang Pengering	54
Lampiran 1.2	Data Pengujian Refrigerasi Tanpa Beban Tanpa Pompa Vakum dan <i>Ejector</i>	55
Lampiran 1.3	Data Pengujian Refrigerasi Tanpa Beban dengan <i>Ejector</i>	56
Lampiran 1.4	Data pengujian refrigerasi tanpa beban dengan pompa vakum	57
Lampiran 2	Hasil Analisis	58
Lampiran 2.1	Diagram P – h R134a	58
Lampiran 2.2	Tabel Hasil Analisis Data Pengujian Sistem Refrigerasi dengan Pompa Vakum	59
Lampiran 2.3	Tabel Hasil Analisis data Pengujian Sistem Refrigerasi dengan <i>Ejector</i>	60
Lampiran 2.4	Tabel hasil analisis data pengujian sistem refrigerasi tanpa pompa vakum dan <i>ejector</i>	61
Lampiran 2.5	Data Pengawetan Ikan.....	62
Lampiran 3	Perancangan dan Pembuatan	63
Lampiran 3.1	Diagram P – h R134a	63
Lampiran 3.1	Perancangan dan Pembuatan Ruang Pengering.....	64
Lampiran 3.2	Perancangan dan Perakitan Sistem Refrigerasi	66
Lampiran 3.3	Instalasi Pengujian	68
Lampiran 4	Dokumentasi	69
Lampiran 4.1	Dokumentasi Pengujian Ikan Bandeng	70

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : Mona Rezky Mansyur

Randi A Pandi

NIM : 442 16 009

442 16 024

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam Skripsi ini yang berjudul “Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* dengan Beban Ikan Bandeng” merupakan gagasan dan hasil karya kami sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi atau instansi apapun.

Semua data dan informasi telah dinyatakan dengan jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam Skripsi ini.

Jika pernyataan kami diatas tidak benar kami siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politenik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 24 September 2020



Mona Rezky Mansyur
442 16 009



Randi A Pandi
442 16 024

RINGKASAN

Proses pengolahan ikan sangat memengaruhi kualitasnya, dalam hal ini ialah kandungan proteinnya. Pengolahan pasca panen merupakan awal yang menentukan kualitas ikan bandeng. Salah-satu metode pengawetan yaitu *freeze drying*. Secara umum mesin *freeze drying* menggunakan pompa vakum untuk mengatur tekanan. Pompa vakum memiliki konstruksi yang cukup kompleks dan memiliki bagian yang bergerak berupa *impeller* sehingga untuk proses pemeliharaan membutuhkan biaya dan waktu yang lama. Oleh karena itu, inovasi teknologi pada penelitian ini ialah sistem *freeze drying* yang menggunakan *ejector* untuk mengatur tekanan vakum. Kelebihan *ejector* ialah mempunyai konstruksi lebih sederhana, perawatan relatif mudah, serta harga relatif murah. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan performa pengering ikan bandeng sistem *freeze drying* yang menggunakan *ejector* dan menentukan kadar air ikan bandeng yang hilang dengan sistem *freeze drying*.

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimen. Metode rancang bangun dilakukan untuk perancangan, pembuatan, dan uji kinerja mesin pengering beku ikan bandeng. Metode eksperimen dilakukan untuk pengujian pengering beku ikan bandeng.

Penggunaan *ejector* dapat meningkatkan nilai COP sistem refrigerasi dimana nilai COP rata-ratanya adalah 5,10. Sementara tanpa penggunaan *ejector* nilai COP rata-rata sistem refrigerasi hanya 4,79. Namun penggunaan *ejector* pada mesin *freeze drying* belum memungkinkan untuk mencapai tingkat kevakuman yang dipersyaratkan yaitu minimal 0,006 bar. Kadar air ikan bandeng yang hilang dengan suhu akhir 1,1°C dan kevakuman 0,58 bar selama 7 jam adalah 0,031% untuk massa basah dan 0,032% untuk massa kering. Laju penyingkiran air pada proses ini adalah 0,0127 kg/kWh. Penambahan panas 85°C – 100°C yang sesuai dengan titik jenuh ikan bandeng pada kondisi kisaran 1°C dapat mengurangi kadar air ikan yaitu 0,023% dengan laju penyingkiran air adalah 0,054 kg/kWh.

SUMMARY

The processing of fish greatly affects its quality, in this case the protein content. Post-harvest processing is the starting point that determines the quality of milkfish. One of the preservation methods is freeze drying. In general, freeze drying machines use a vacuum pump to adjust the pressure. The vacuum pump has a complex construction and has a moving part in the form of an impeller so that the maintenance process requires a long time and costs. Therefore, the technological innovation in this research is a freeze drying system that uses an ejector to adjust the vacuum pressure. The advantages of the ejector are that it has a simpler construction, relatively easy maintenance, and a relatively cheap price. This research was conducted to determine the performance of the milkfish dryer using the freeze drying system using an ejector and to determine the loss of water content in the milkfish using the freeze drying system.

This research uses design and experimental methods. The design method is used to design, manufacture and test the performance of the milkfish freeze drying machine. The experimental method was carried out for testing the milkfish freeze dryer.

The use of an ejector can increase the COP value of the refrigeration system where the average COP value is 5.10. Meanwhile, without the use of an ejector, the average COP value for the refrigeration system is only 4.79. However, the use of an ejector in a freeze drying machine has not made it possible to achieve the required vacuum level of at least 0.006 bar. The water content of the milkfish that is lost with a final temperature of 1.1 °C and a vacuum of 0.58 bar for 7 hours is 0.031% for wet mass and 0.032 % for dry mass. The water removal rate in this process is 0.0127 kg/kWh. The addition of heat 85 °C - 100 °C which corresponds to the saturation point of milkfish at 1 °C of conditions can reduce the water content of the fish, namely 0.023% with a water removal rate of 0.054 kg/kWh.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budidaya ikan bandeng (*Chanos chanos*) di Indonesia sudah cukup maju. Hal ini dikarenakan ikan bandeng dapat dibudidayakan di berbagai tempat seperti air laut, air payau, dan air tawar. Sekitar 98% ikan bandeng yang dibudidayakan berasal dari tambak. Budidaya ikan bandeng dilakukan untuk memproduksi ikan konsumsi rumah tangga, ekspor, dan sebagai umpan dalam penangkapan ikan tuna dan cakalang (Dharma dkk, 2019: 83).

Permintaan akan ikan bandeng tiap tahunnya terus meningkat. Ini disebabkan oleh beberapa hal, salah-satunya adalah harganya yang relatif murah. Faktor lain disebabkan karena rasa daging ikan yang gurih (Salam dan Darmawati, 2017: 36). Rasa gurih pada ikan bandeng disebabkan oleh tingginya kandungan protein yang dimiliki. Kandungan protein dari ikan bandeng sekitar 20-24% yang terdiri dari asam amino glutamat 1, 23% dan lisin 2, 25% (Hafiludin, 2015: 37).

Kulit dari ikan bandeng mengandung kadar air sebesar 64, 74%, abu 2, 43%, lemak 4, 76%, protein 23, 74%, dan karbohidrat sebesar 4, 34%. Tetapi nilai organoleptik kulit ikan bandeng bisa menurun seiring dengan lamanya waktu penyimpanan. Kulit ikan bandeng mempunyai beberapa fase yaitu fase prerigor pada penyimpanan jam ke-0, fase rigormortis pada penyimpanan jam ke-174 (8 hari), fase postrigor pada jam ke-318 (14 hari), dan memasuki fase busuk pada jam ke-534 (23 hari). Pada fase rigormotis kulit ikan bandeng mulai mengalami kerusakan atau degenerasi pada lapisan dermis. Pada fase postrigor dan busuk

terjadi kematian sel yang ditandai dengan hilangnya inti sel pada lapisan kulit ikan. Pada fase busuk terlihat adanya koloni bakteri pembusuk. Ketebalan jaringan kulit ikan bandeng menurun seiring dengan lamanya waktu penyimpanan. Hal ini diduga diakibatkan oleh terjadinya proses nekrosis pada jaringan kulit ikan bandeng (Perceka, 2011).

Proses pengolahan merupakan hal yang sangat memengaruhi kualitas ikan bandeng, dalam hal ini ialah kandungan proteinnya. Pengolahan pasca panen merupakan awal yang menentukan kualitas dari ikan bandeng. Biasanya pada saat pemanenan, petani tambak langsung memasukkan ikan kedalam wadah yang berisi es untuk diawetkan. Namun cara ini tidak dapat mengawetkan ikan dalam waktu lama karena es akan mencair dengan cepat apabila mendapat panas dari lingkungan. Saat ini teknologi pembekuan ikan yang umum digunakan adalah *air blazt freezer*. Kelebihan dari *air blazt freezer* adalah mampu mengawetkan ikan dalam kondisi lama sehingga sangat baik digunakan untuk pengawetan ikan. Namun, kekurangan dari alat ini ada pada kondisi bekunya yang menggunakan es sehingga massa dari produk akan menjadi lebih besar dan ini sangat mempengaruhi biaya pengiriman. Yang kedua adalah es sewaktu-waktu dapat mencair akibat fluktuasi suhu yang ketika bereaksi dengan ikan akan mengubah aroma dan warna sehingga menurunkan kualitas ikan. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi pengawetan yang dapat meminimalisir kandungan air dan tidak menggunakan bongkahan es sebagai medianya.

Menurut Alhanannasir dkk. (2018: 159), metode pengeringan menggunakan *freeze drying* mampu mengurangi kandungan air bahan sehingga membuat pangan

menjadi lebih awet. Saat ini penggunaan *freeze drayer* banyak digunakan untuk mengawetkan dan menjaga kualitas buah maupun sayuran. Januari dan Awaludin Martin (2014) telah berhasil melakukan pengeringan beku bengkoang yang mengandung kadar air sebesar 90%. Belyamin (2008;2011) dan Arlisdianto (2012) telah berhasil melakukan pengeringan beku lidah buaya (aloevera) yang mengandung kadar air sebesar 98,7%. Pujihastuti (2009) telah melakukan pengeringan beku tomat yang mengandung kadar air sebesar 93,4%. Siregar (2004) telah melakukan kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum terhadap daging buah durian yang mengandung kadar air sebesar 60,82%.

Pengaplikasian *freeze drying* secara umum menggunakan pompa vakum untuk mengatur tekanan. Pompa vakum memiliki konstruksi yang cukup kompleks dan memiliki bagian yang bergerak berupa *impeller* sehingga untuk proses pemeliharaan membutuhkan biaya dan waktu yang lama. Oleh karena itu, inovasi teknologi pada penelitian ini ialah sistem *freeze drying* yang menggunakan *ejector* untuk mengatur tekanan vakum. Kelebihan *ejector* ialah mempunyai konstruksi lebih sederhana, perawatan relatif mudah, serta harga relatif murah. *Freeze dryer* masih sangat jarang digunakan pada bidang perikanan khususnya ikan bandeng sehingga performa dari mesin ini perlu dikaji lebih dalam.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka permasalahan penelitian dirumuskan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana performa pengering ikan bandeng sistem *freeze drying* yang menggunakan *ejector* ?
- 2) Berapa kadar air ikan bandeng yang hilang dengan sistem *freeze drying* ?

1.3 Ruang Lingkup

Dalam pembahasan ini penulis hanya membahas *Freeze Drying* yang dirancang dengan beban ikan bandeng.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan diatas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a) Menentukan performa pengering ikan bandeng sistem *freeze drying* yang menggunakan *ejector*.
- b) Menentukan kadar air ikan Bandeng yang hilang dengan sistem *freeze drying*.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan memberi manfaat:

- 1) Solusi bagi petani tambak ataupun eksportir ikan bandeng untuk mengawetkan ikan dalam waktu lama tanpa takut kualitas dan mutunya menurun.
- 2) Mengurangi biaya pengiriman ikan bandeng karena produk akhir tidak lagi menggunakan es yang selama ini memiliki berat yang cukup tinggi.

3) Sebagai dasar pengembangan sistem *freeze drying* untuk penulis dan peneliti lain.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas dan Mutu Ikan Bandeng

Bandeng (*Chanos chanos*) merupakan salah satu komoditas yang strategis untuk memenuhi kebutuhan protein yang relatif murah dan digemari oleh konsumen di Indonesia. Dharma dkk. (2019: 83) mengemukakan bahwa ikan bandeng diekspor dalam bentuk bandeng umpan dan konsumsi. (Salam dan Darmawati, 2017: 36) menyatakan bahwa ikan bandeng banyak digemari oleh masyarakat karena memiliki rasa yang gurih. Rasa gurih pada ikan bandeng disebabkan oleh tingginya kandungan protein. Bandeng sebagai bahan pangan merupakan sumber zat gizi yang penting bagi proses kelangsungan hidup manusia. Zat gizi utama pada ikan bandeng antara lain protein, lemak, vitamin dan mineral. Kandungan protein dari ikan bandeng sekitar 20-24% yang terdiri dari asam amino glutamat 1,23% dan lisin 2,25 (Hafiludin, 2015: 37). Akan tetapi zat gizi ini tidak akan bernilai tinggi dan turun mutunya apabila tidak ditangani dengan baik setelah penangkapan atau pemanenan.

Kandungan gizi pada setiap ikan akan berbeda beda tergantung pada faktor internal dan eksternal. Faktor internal berupa jenis atau spesies ikan, jenis kelamin, umur dan fase reproduksi pada ikan. Faktor eksternal berupa faktor yang ada pada lingkungan hidup ikan berupa habitat, ketersediaan pakan dan kualitas perairan tempat ikan hidup.

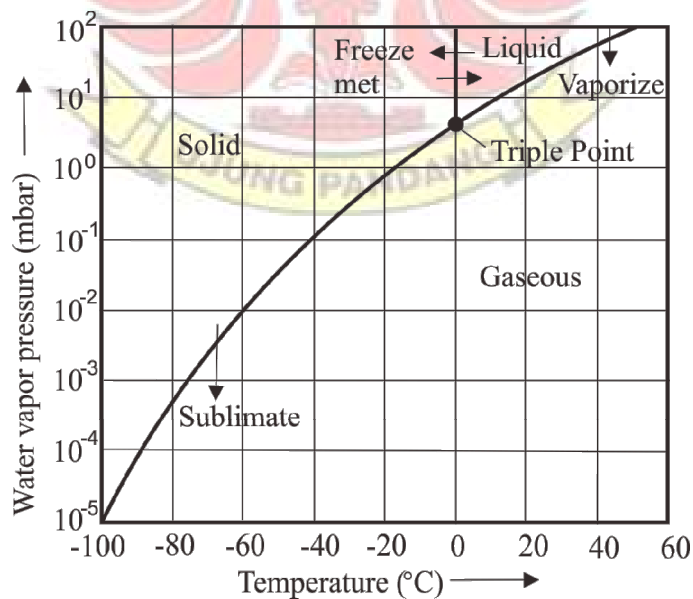
Penanganan dan penyimpanan ikan hingga sampai ke konsumen merupakan faktor yang sangat penting untuk mempertahankan kualitas ikan agar tidak cepat mengalami kemunduran mutu (Bao *et al.*, 2007: 1). Beberapa penelitian tentang ikan bandeng di Indonesia telah dilakukan sebelumnya, yaitu Elfrida *et al.* (2012) yang mengemukakan tentang pengaruh suhu dan waktu penyimpanan terhadap pertumbuhan bakteri dan fungi terhadap mutu ikan bandeng. Prasetyaningtyas (2009) yang melakukan pengamatan tentang penggunaan larutan bubuk daun bakau merah (*Rhizophora mucronata* Lamk) dengan perlakuan penyimpanan suhu dingin menggunakan es curai untuk mempertahankan mutu ikan bandeng. Dewi *et al.* (2008) melakukan penelitian tentang analisis mutu ikan bandeng (*Chanos chanos*) menggunakan metode pendinginan ikan dengan media es air laut serpihan (sea water flake ice).

Kulit dari ikan bandeng mengandung kadar air sebesar 64,74%, abu 2,43%, lemak 4,76%, protein 23,74%, dan karbohidrat sebesar 4,34%. Tetapi nilai organoleptik kulit ikan bandeng bisa menurun seiring dengan lamanya waktu penyimpanan. Kulit ikan bandeng mempunyai beberapa fase yaitu fase prerigor pada penyimpanan jam ke-0, fase rigormortis pada penyimpanan jam ke-174 (8 hari), fase postrigor pada jam ke-318 (14 hari), dan memasuki fase busuk pada jam ke-534 (23 hari). Pada fase rigormotis kulit ikan bandeng mulai mengalami kerusakan atau degenerasi pada lapisan dermis. Pada fase postrigor dan busuk terjadi kematian sel yang ditandai dengan hilangnya inti sel pada lapisan kulit ikan. Pada fase busuk terlihat adanya koloni bakteri pembusuk. Ketebalan jaringan kulit ikan bandeng menurun seiring dengan lamanya waktu

penyimpanan. Hal ini diduga diakibatkan oleh terjadinya proses nekrosis pada jaringan kulit ikan bandeng (Perceka, 2011).

2.2 Pengeringan Beku (*Freeze Drying*)

Freeze dryer merupakan suatu alat pengeringan yang termasuk kedalam *conduction dryer* atau *indirect dryer* karena proses perpindahan terjadi secara tidak langsung yaitu antara bahan yang akan dikeringkan (bahan basah) dan media pemanas terdapat dinding pembatas sehingga air dalam bahan basah atau lembab yang menguap tidak terbawa bersama media pemanas. Menurut Alhanannasir dkk. (2018: 159), metode pengeringan menggunakan *freeze drying* mampu mengurangi kandungan air bahan sehingga membuat pangan menjadi lebih awet. Prinsip teknologi pengeringan beku ini dimulai dengan pembekuan kemudian dilanjutkan dengan pengeringan, yaitu mengeluarkan atau memisahkan hampir sebagian besar air dalam bahan yang terjadi melalui mekanisme sublimasi (Hariyadi, 2013: 53).



Gambar 2.1 Diagram fasa air (Januari, 2014: 3)

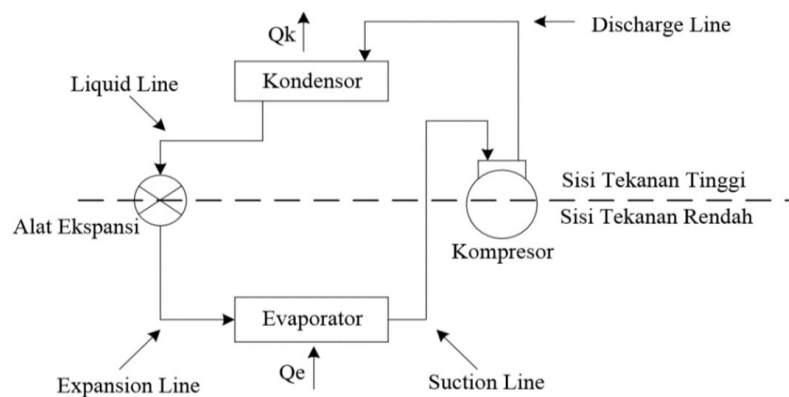
Sublimasi adalah perubahan wujud dari padat ke gas tanpa mencair terlebih dahulu. Dengan menggunakan diagram fase air pada Gambar 1 bisa diketahui bahwa dengan mengendalikan kondisi tekanan (P) dan suhu (T), air dapat berbentuk gas (uap), cair (air) atau padatan (es). Pada kondisi tertentu yaitu pada 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 *triple*. Titik *triple* untuk air terjadi pada pada tekanan (P) 4.58 torr dan suhu (T) = 0°C. Untuk bahan dalam kondisi beku pada tekanan yang dipertahankan tetap dibawah tekanan *triple* (Pt = 4,58 torr), dan kemudian suhu produk dinaikkan maka yang terjadi adalah peristiwa sublimasi, yaitu perubahan fase dari padat (es) ke uap (Hariyadi, 2013: 54).

Pengeringan beku telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Januari dan Awaludin Martin (2014) telah berhasil melakukan pengeringan beku bengkoang yang mengandung kadar air sebesar 90%. Belyamin (2008;2011) dan Arlisdianto (2012) telah berhasil melakukan pengeringan beku lidah buaya (*aloevera*) yang mengandung kadar air sebesar 98,7%. Pujihastuti (2009) telah melakukan pengeringan beku tomat yang mengandung kadar air sebesar 93,4%. Siregar (2004) telah melakukan kajian pengeringan beku dengan pembekuan vakum terhadap daging buah durian yang mengandung kadar air sebesar 60,82%. Pengaplikasian metode pengeringan beku secara umum diterapkan pada pengawetan buah dan sayur dan hasilnya adalah dapat mempertahankan mutu dan kualitas bahan. Oleh karena itu Pada penelitian ini pengeringan beku akan

diterapkan pada ikan bandeng untuk menjaga kualitas dan mutunya, dalam hal ini kandungan protein, omega-3, serta zat-zat yang bermanfaat lainnya.

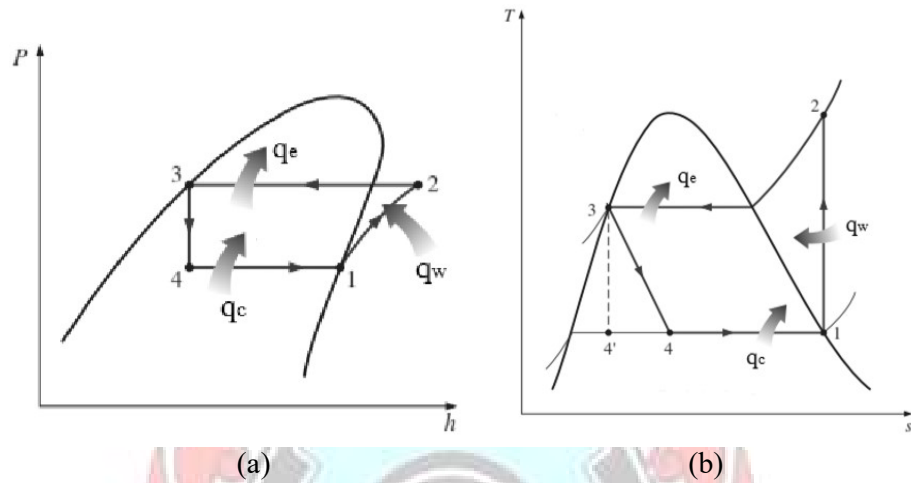
2.3 Freezer

Sistem *freezer* merupakan refrigerasi kompresi uap yang menggunakan kompresor sebagai alat kompresi media pendinginan (refrigeran). Proses kerjanya adalah pada kompresor refrigeran dikompresi kemudian dikeluarkan pada sisi keluaran (discharge) dan masuk ke kondenser, di kondenser terjadi proses pembuangan kalor refrigeran sehingga refrigeran berubah fasa menjadi cair dan selanjutnya mengalir ke alat ekspansi, pada alat ekspansi ini refrigeran mengalami penurunan tekanan dan temperatur kemudian masuk ke evaporator, di evaporator refrigeran menyerap kalor dari produk atau dari lingkungan yang didinginkan sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap, kemudian masuk pada sisi penghisap (suction) menuju kompresor (Margana dan Dewi Octaviana, 2017: 115).



Gambar 2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Dari keempat proses tersebut apabila berlangsung terus-menerus maka akan menghasilkan suatu siklus, seperti gambar di bawah ini :



Gambar 2.3 (a) Diagram P - h siklus refrigerasi, (b) Diagram T - s siklus refrigerasi (Amrullah dkk. 2017: 9)

Menurut Warsis dan Abdul Haris (2012), Penentuan beban kalor pada suatu sistem pendingin harus memperhatikan beberapa parameter seperti kalor sensibel, kalorkalaten, perpindahan kalor melalui dinding, dan sebagainya.

Kalor sensibel dapat dihitung dengan persamaan,

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \dots\dots\dots 1$$

Dimana : Q = Nilai kalor sensibel (kJ)

m = Massa (kg)

c = Kapasitas kalor ($\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$)

T₁ = Temperatur awal (°C)

T₂ = Temperatur akhir (°C)

Sedangkan kalor laten dapat dihitung dengan persamaan,

$$Q_l = m \times q_l \dots\dots\dots 2$$

Dimana : Q_l = Kalor laten (kJ)

$$q_l = \text{Kalor lebur } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)$$

Proses perpindahan kalor melalui dinding, dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times \Delta T_e \dots\dots\dots 3$$

Dimana : Q = Laju aliran kalor $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{jam}}\right)$

A = Luas permukaan dinding (m^2)

U = Koefisien perpindahan kalor $\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

$= \frac{1}{R}$, dimana R merupakan resistensi termal bahan

ΔT = Perbedaan temperatur ($^\circ\text{C}$)

Total beban kalor yang harus diatasi mesin pendingin adalah penjumlahan dari beban kalor produk dan beban kalor melalui transmisi dinding,

$$\text{Jumlah beban kalor} = Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{laten}} \dots\dots\dots 4$$

Penentuan parameter kinerja dari suatu siklus kompresi uap dilakukan dengan menggunakan sifat-sifat termodinamika refrigeran yang digunakan (Jones dan Wilbert. 1989:188).

Efek refrigerasi

$$RE = h_1 - h_4 \dots\dots\dots 5$$

Laju aliran massa refrigeran

$$\dot{m}_r = \frac{\text{Kapasitas refrigerasi}}{RE} \dots\dots\dots 6$$

Daya kerja kompresor

$$W_c = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots 7$$

COP (*Coefficient Of performance*)

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \dots\dots\dots 8$$

Daya kompresor per kilowatt

$$\text{Daya refrigerasi} = \frac{\text{Daya kompresor}}{\text{Kapasitas refrigerasi}} \dots\dots\dots 9$$

Dimana : h_1 = entalpi pada titik 1 ($\frac{kJ}{kg}$)

h_2 = entalpi pada titik 2 ($\frac{kJ}{kg}$)

h_3 = entalpi pada titik 3 ($\frac{kJ}{kg}$)

h_4 = entalpi pada titik 4 ($\frac{kJ}{kg}$)

\dot{m} = Laju aliran massa ($\frac{kJ}{s}$)

RE = *Refrigeraton Effect* ($\frac{kJ}{kg}$)

COP = *Coefficient of performance*

Wc = Kerja kompresor ($\frac{kJ}{kg}$)

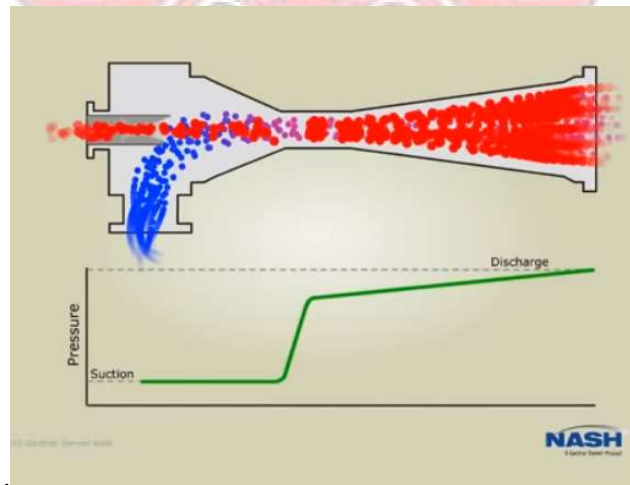
2.4 Performa Pengeringan Beku

Pengeringan beku diakui sebagai metode pengeringan yang dapat memberikan mutu hasil pengeringan paling baik dibandingkan metode pengeringan lainnya. Namun, kelemahannya adalah memiliki waktu pengeringan yang lambat. Menurut Whitman *et al.* (1999: 343) ada dua faktor penting dalam sistem refrigerasi, yaitu temperatur penguapan dan temperatur pengembunan. Temperatur penguapan berhubungan dengan sistem evaporator sementara temperature pengembunan berhubungan dengan kondensor.

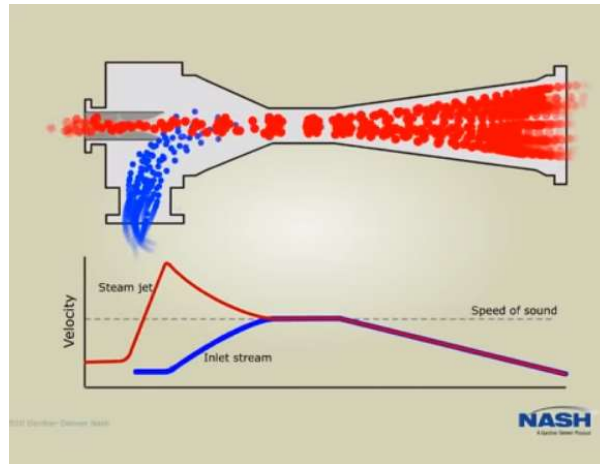
Tambunan dkk. (2001: 313) melakukan pengeringan dengan siklus tekanan dan mendapatkan bahwa lama pengeringan ditentukan oleh tekanan pengering selain oleh suhu permukaan produk. Jika tekanan dan laju pembekuan naik, maka waktu pengeringan primer dan waktu pengeringan sekunder turun. Dari semua hasil penelitian yang telah dipaparkan, pengaturan tekanan ruangan pengering dilakukan dengan menggunakan pompa vakum. Misalnya Januari dan Awaludin Martin (2014: 7) yang telah berhasil melakukan pengeringan beku bengkoang mengatur tekanan menggunakan pompa vakum dengan tekanan akhir ruang pengering 0.000667 bar. Pompa vakum memiliki konstruksi yang cukup kompleks dan memiliki bagian yang bergerak berupa *impeller* sehingga untuk proses pemeliharaan maupun pengadaan membutuhkan biaya dan waktu yang lama. Oleh karena itu, pada penelitian ini pengaturan tekanan sistem *freeze drying* menggunakan *ejector* yang konstruksinya lebih sederhana, tidak memiliki bagian yang bergerak, perawatan relatif mudah, serta harga yang relatif murah (Sugati, 2015: 1).

2.5 Ejector

Prinsip kerja *ejector* adalah fluida dialirkan melalui nosel dimana arus mengecil karena perubahan penampang nosel, difuser yang membesar secara perlahan ditempatkan didekat mulut nosel dalam ruang isap, karena kecepatan arus yang meninggalkan mulut nosel bertambah besar maka tekanan dalam arus akan turun, demikian pula didalam ruang isap. Pada difuser kecepatan berkurang sehingga tekanan naik kira-kira mendekati tekanan atmosfer (apabila fluida dibuang menuju atmosfer). Akibat kejadian tersebut maka tekanan dalam ruang isap juga menurun dibawah tekanan atmosfer, istilahnya terbentuk sedikit vakum yang menyebabkan zat cair dari bejana bawah tersedot naik kedalam ruang isap dan terjebak oleh arus fluida yang menyemprot dari mulut nosel (Nugraha dkk. 2007: 26).



Gambar 2.4 Perubahan tekanan sepanjang ejector



Gambar 2.5 Perubahan kecepatan sepanjang ejector
(Prabowo, 2011: 10)

Pada proses ini terjadi transfer momentum dari udara kecepatan tinggi (Nozzel penggerak) kepada aliran fluida sekunder. Akibat transfer tersebut fluida penggerak yang berkecepatan tinggi ketika keluar dari nozzle penggerak, akan mengalami penurunan kecepatan. Semakin jauh dari nozel penggerak kecepatan fluida penggerak terus menurun. Berlawanan dengan fluida penggerak. Fluida sekunder yang kecepatan rendah ketika memasuki saluran hisap akan terus bertambah kecepatannya seiring semakin jauh jaraknya dari nozzle penggerak. Untuk daerah sekitaar nozzle penggerak dimana kecepatan partikel fluida relative tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozzle maka sesuai hukum kekekalan momentum jumlah massa fluida penggerak didaerah sekitar nozel lebih sedikit dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh dari nozel. Akibatnya fluida primer disekitar nozel bertekanan rendah sehingga akan menghisap sejumlah massa partikel fluida sekunder untuk mengimbangi sejumlah massa didaerah yang lebih jauh dari nozzle penggerak. Kemudian massa fluida sekunder yang terhisap akan dikeluarkan ke discharge dalam kecepatan tertentu

bersamaan dengan fluida primer inilah yang disebut transfer momentum (Prabowo, 2011: 11).

2.6 Laju Pengerinan

Kadar air menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan (Surachman *et al.*, 2008: 157). Riswanto (2016) menjelaskan bahwa Ada dua metode dalam menentukan kadar air bahan, yaitu berdasarkan massa basah (*wet basis*) dan berdasarkan massa kering (*dry basis*)”.

$$M_1 = \frac{M_{awal} - M_{akhir}}{M_{awal}} \dots\dots\dots 10$$

$$M_2 = \frac{M_{akhir} - M_{awal}}{M_{akhir}} \dots\dots\dots 11$$

dimana:

M_1 = Kadar air bahan berdasarkan massa basah (%)

M_2 = Kadar air bahan berdasarkan massa kering (%)

M_{awal} = Massa bahan sebelum pengeringan (kg)

M_{akhir} = Massa bahan sesudah pengeringan (kg)

Laju penyingkiran air spesifik (*Specific Moisture Removal Rate, SMER*) didefinisikan sebagai “Perbandingan air yang disingkirkan dari bahan dalam kg/jam dengan input energi dalam kW dan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan seperti berikut (Chegini *et al.*, 2007: 63)” :

$$SMER = \frac{W}{E_{input}} \dots\dots\dots 12$$

Dengan,

$$E_{input} = W_C + W_B \dots\dots\dots 13$$

Dimana:

SMER = Laju penguapan air spesifik ($\frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}$)

W = Jumlah air yang disingkirkan ($\frac{\text{kg}}{\text{Jam}}$)

E_{input} = Total energi yang diperlukan sistem untuk melakukan pengeringan (kW)

W_B = Daya listrik yang dikonsumsi oleh motor blower (kW)

W_C = Daya listrik yang dikonsumsi oleh Kompresor (kW)



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian “Kaji Eksperimental Performa Mesin *Freeze Drying* dengan Beban Ikan Bandeng” dilaksanakan di Laboratorium Sistem Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama mulai dari bulan juni - september tahun 2020.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat yang digunakan:

- 1) Kompresor
- 2) Kondensor
- 3) Alat Expansi
- 4) Evaporator
- 5) Ejector
- 6) Pompa vakum



3.2.2 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah ikan bandeng.

3.3 Prosedur Penelitian

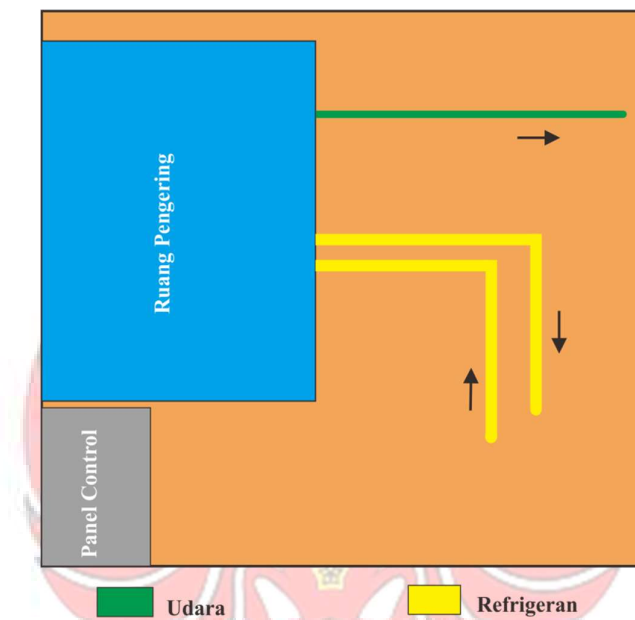
Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun dan eksperimen. Metode rancang bangun dilakukan untuk perancangan, pembuatan, dan uji kinerja mesin pengering beku ikan bandeng. Metode eksperimen dilakukan untuk pengujian

pengering beku ikan bandeng untuk mengetahui kadar air yang hilang pada ikan bandeng dengan sistem *freeze drying*. Adapun diagram alir penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.

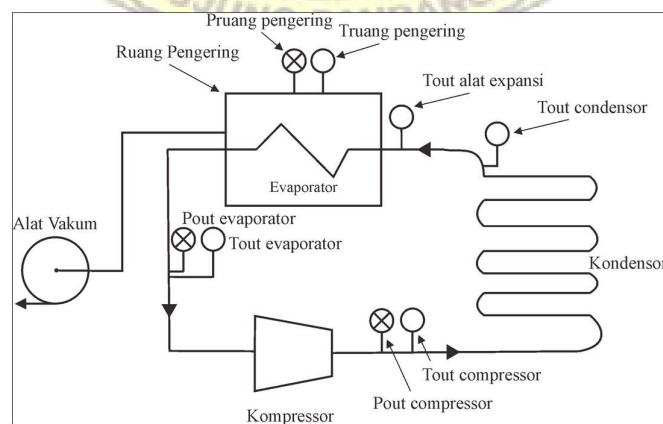


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Dalam perancangan mesin pengering beku vakum ikan bandeng ada dua komponen utama yang dirancang, yakni ruang pengering dan sistem refrigerasi. Skema mesin pengering beku vakum ikan bandeng yang dirancang ialah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan 3.3.

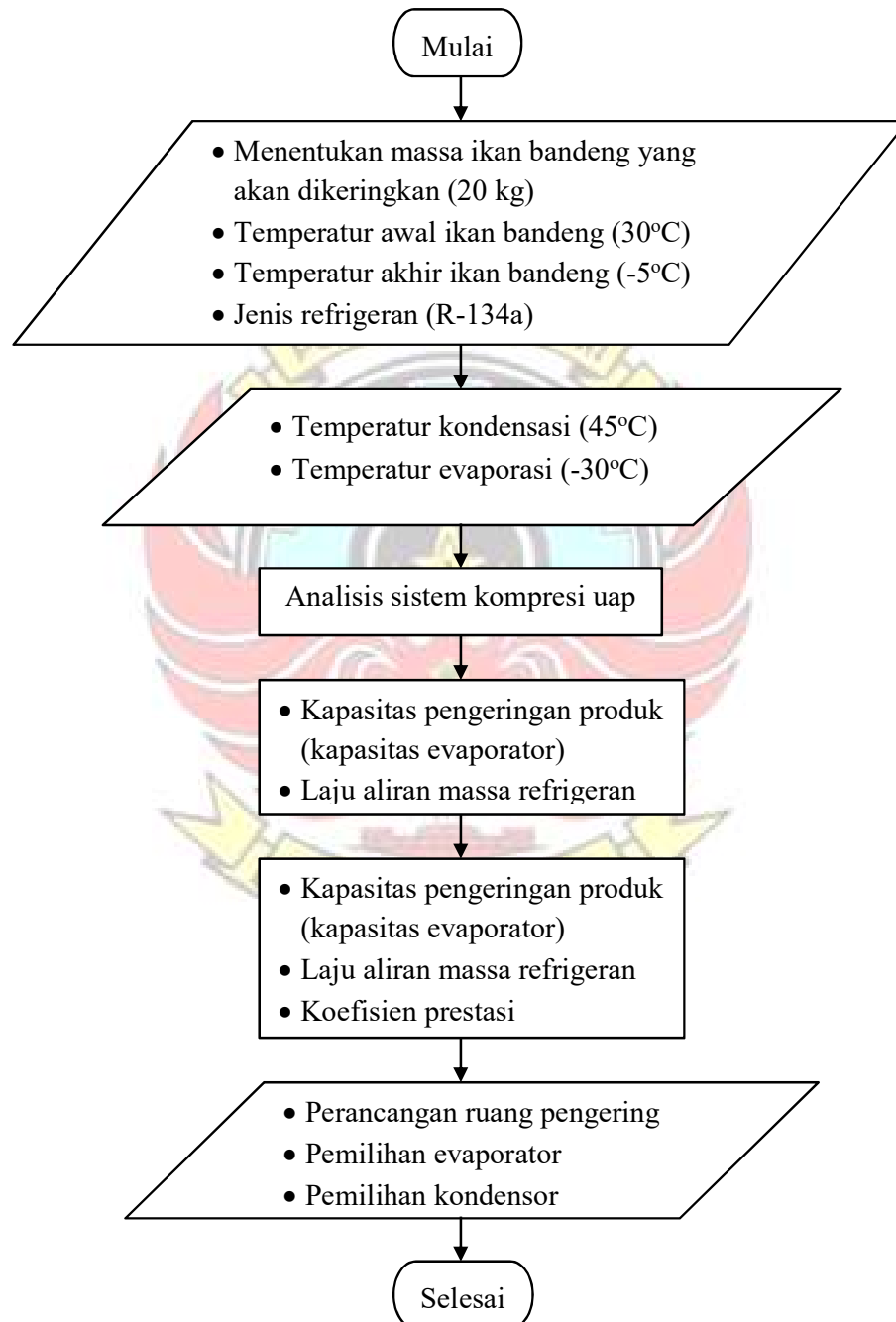


Gambar 3.2 Sistem kerja *freeze drying*



Gambar 3.3 Skema sistem *freeze drying*

Dalam perancangan sistem refrigerasi yang perlu diperharikan ialah kapasitas evaporator dan kondensor. Adapun diagram alir perancangan mesin pengering beku vakum ikan bandeng seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Alir Perancangan *Freeze Dryer*

Berdasarkan kapasitas bahan yang akan dikeringkan maka dihitung besarnya volume ruang pengering yang dibutuhkan. Perhitungan ketebalan ruang pengering dan penutup ruang pengering yang dibutuhkan dilakukan untuk mengetahui kekuatan bahan sesuai dengan yang diharapkan mampu menahan tekanan serta temperatur yang akan tercapai dalam ruang pengering. Untuk mengetahui proses perancangan ruang pengering ialah seperti yang ditunjukkan pada diagram alir perancangan ruang pengering yakni seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Perancangan Ruang Pengereng

Dalam pembuatan mesin pengering beku vakum ikan bandeng, komponen yang dibuat ialah kedudukan alat uji, ruang pengering, evaporator dan kondensor. Adapun diagram alir pembuatan mesin pengering beku vakum ikan bandeng seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Mesin *Freeze Dryer*

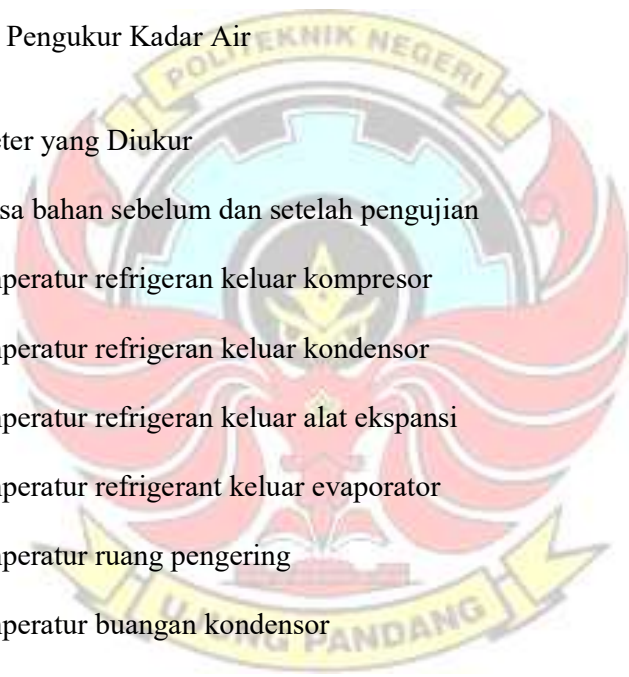
3.4 Langkah Pengujian

3.4.1 Alat ukur yang Digunakan

- 1) Termometer
- 2) Barometer
- 3) Amperemeter
- 4) Voltmeter
- 5) Timbangan
- 6) Alat Pengukur Kadar Air

3.4.2 Parameter yang Diukur

- 1) Massa bahan sebelum dan setelah pengujian
- 2) Temperatur refrigeran keluar kompresor
- 3) Temperatur refrigeran keluar kondensor
- 4) Temperatur refrigeran keluar alat ekspansi
- 5) Temperatur refrigeran keluar evaporator
- 6) Temperatur ruang pengering
- 7) Temperatur buangan kondensor
- 8) Tekanan refrigeran keluar kompresor
- 9) Tekanan refrigeran keluar kondensor
- 10) Tekanan refrigeran keluar alat ekspansi
- 11) Tekanan refrigeran keluar evaporator
- 12) Tekanan ruang pengering



3.4.3 Diagram Alir Pengujian



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengeringan Ikan bandeng dan Pengambilan Data

3.5 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan merupakan analisis kuantitatif. Hal ini dilakukan untuk menghitung dan menentukan performa mesin *freeze drying* yang menggunakan *ejector* serta menghitung kadar air ikan bandeng yang hilang pada proses pengeringan. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 1 hingga persamaan 13.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

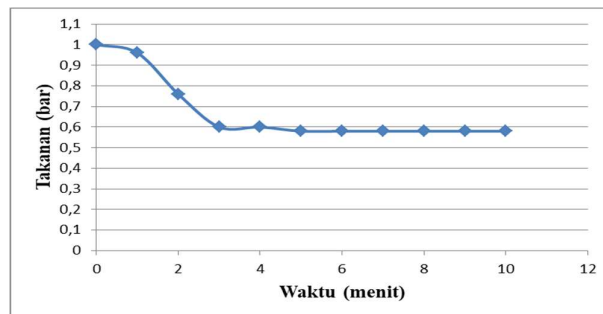
4.1 Hasil

4.1.1 Hasil Rancangan Ruang Pengeriing

1) Dimensi

- a) Kapasitas : 20 kg
- b) Bentuk ruang : Persegi panjang
- c) Material : *Stainless steel 304*
- d) Tebal : 2 mm
- e) Panjang : 60 cm
- f) Lebar : 50 cm
- g) Tinggi : 50 cm
- h) Volume : 0,15 m³
- i) Material Pintu : *Stainless steel*
- j) Tebal Pintu : 3 mm

2) Hasil Uji Kevakuman Ruang Pengeriing Beku



Gambar 4.1. Grafik Kevakuman Ruang Pengeriing

4.1.2 Hasil Rancangan Sistem Refrigerasi

1) Beban Kalor Ikan

Marsis dkk. (2012) menyatakan bahwa panas jenis ikan bandeng adalah $3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$. Bila membekukan ikan bandeng 20 kg dari temperatur 30°C hingga menjadi es yang bertemperatur -5°C , jumlah energi yang diperlukan untuk proses tersebut adalah:

Dengan persamaan $Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1)$

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Panas sensibel ikan adalah, } Q_s &= 20 \text{ kg} \times 3,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \\ &\quad \times ((30 - (-5)) ^\circ\text{C}) \\ &= 2520 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\text{Panas laten ikan, } Q_L = m \times q_l$$

Marsis dkk. (2012) menyatakan bahwa kalor lebur ikan adalah

$$234,926 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} &= 20 \text{ kg} \times 234,926 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 4698,52 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Total panas ikan yang didapat adalah beban panas yang harus dikeluarkan dari ruang pengering selama 12 jam. Apabila waktu operasi selama 12 jam, maka beban yang harus diatasi mesin setiap jamnya adalah:

$$\text{Panas sensibel ikan, } \frac{2520}{12} = 210 \frac{\text{kJ}}{\text{Jam}}$$

$$\text{Panas laten ikan, } \frac{4698,52}{12} = 391,54 \frac{\text{kJ}}{\text{Jam}}$$

2) Beban Transmisi Dinding

Pada proses perpindahan panas melalui dinding , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = A \times U \times \Delta T_e$$

Ukuran ruang pengering:

$$\text{Panjang} = 60 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Tinggi} = 50 \text{ cm}$$

$$\text{Tebal} = 2 \text{ mm}$$

Marsis dkk. (2012) menyatakan bahwa resistansi termal dari *stainless steel 304* dan *aluminium foam* adalah,

$$\text{Stainless Steel 304} = 79,637 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Aluminium foam} = 235,364 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Jumlah} = 315,001 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

Koefisien perpindahan panas dinding

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{315,001} = 0,0031 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$$

- Luas dinding bagian luar

$$\text{Luas dinding bawah, atas, belakang, depan} = 4 \times 0,5 \times 0,6 = 1,2 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas dinding bagian samping kanan, kiri} = 2 \times 0,5 \times 0,6 = 0,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Total luas dinding} = 1,2 + 0,6 = 1,8 \text{ m}^2$$

- Temperatur udara luar = 30°C
- Temperatur udara dalam yang harus tercapai = -5°C

Sehingga beban transmisi melalui dinding adalah,

$$\begin{aligned} Q &= A \times U \times \Delta T_e \\ &= 1,8 \text{ m}^2 \times 0,0031 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C} \times ((30 - (-5)) \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 0,1953 \frac{\text{J}}{\text{s}} \\ &= 0,703 \frac{\text{kJ}}{\text{Jam}} \end{aligned}$$

Beban kalor sistem refrigerasi dapat ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 4.1 Beban kalor rancangan sistem refrigerasi

Beban pendingin	Perolehan kalor ($\frac{\text{kJ}}{\text{Jam}}$)	
	Panas sensibel	Panas laten
Ikan Bandeng	210	391,54
Transmisi melalui dinding	0,703	-
Jumlah	210,703	391,54

3) Kapasitas Mesin Pendingin

Total beban kalor yang harus diatasi mesin pendingin adalah penjumlahan dari beban kalor produk dan beban kalor melalui transmisi dinding,

- Jumlah beban kalor $= Q_{\text{sensibel}} + Q_{\text{laten}}$
 $= 210,703 + 391,54$
 $= 602,243 \frac{\text{kJ}}{\text{Jam}}$

Satuan kapasitas mesin pendingin dalam 1 ton refrigerasi adalah :

- Kalor pencairan = $334,944 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$
- 1 ton = 907 kg
- Waktu = 24 jam

$$\text{Maka 1 ton refrigerasi} = \frac{334,944 \times 602,243}{24} = 8404,903 \frac{\text{kJ}}{\text{Jam}}$$

Sehingga besarnya kalor yang harus diatasi oleh mesin pendingin dengan beban ikan bandeng adalah :

$$\text{Kapasitas pendingin} = \frac{602,243}{8404,903} = 0,07 \text{ Ton Refrigerasi} = 0,246 \text{ kW}$$

4) Beban Ruang Pengering

Ruang pengering yang direncanakan adalah sebagai berikut:

Menggunakan R134a

Kapasitas mesin pendingin 0,07 Ton Refrigerasi = 0,246 kW

Temperatur dikondensor 45 °C

Temperatur dievaporator - 30 °C

Didapat dari diagram p – h R134a:

$$h_1 = 380 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 485 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_4 = 265 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

a) Efek refrigerasi

$$\text{RE} = h_1 - h_4$$

$$= 380 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 265 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 155 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b) Laju aliran 1 ton refrigerasi

$$\dot{m} = \frac{8404,903 \text{ kJ}}{\frac{60 \text{ menit}}{\text{RE}}}$$

$$= \frac{8404,903 \text{ kJ}}{\frac{60 \text{ menit}}{155 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}}$$

$$= 0,903 \frac{\text{kg}}{\text{menit} \cdot \text{Ton}}$$

c) Laju aliran 0,07 ton refrigerasi

$$\dot{m} = 0,07 \text{ Ton} \times 0,361 \frac{\text{kg}}{\text{menit} \cdot \text{Ton}}$$

$$= 0,0632 \frac{\text{kg}}{\text{menit}}$$

$$= 0,00105 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

d) Daya Kompresor

$$\text{Daya kompresor} = \dot{m} \times (h_2 - h_1)$$

$$= 0,00105 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (485 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 380 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$= 0,1102 \text{ kW}$$

$$= 110,25 \text{ Watt}$$

e) COP (*Coefficient Of performance*)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{375 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 265 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{485 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 380 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= \frac{110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 1,04 \end{aligned}$$

Berdasarkan parameter parameter rancangan sistem refrigerasi kemudian ditentukan :

Daya kompressor = $\frac{1}{4}$ HP = 186,5 Watt

Kondensor = tipe 8U

Evaporator = ukuran 75 x 40 cm

5) Hasil Pengujian Sistem refrigerasi

a) Tanpa pompa vakum dan *ejector*

Diambil data ke- 7 dari tabel data lampiran 2

Dengan menggunakan aplikasi *Computer – Aided Thermodynamic*

didapat:

$$h_1 = 416,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 448,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_4 = 263,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Efek refrigerasi

$$\begin{aligned} RE &= h_1 - h_4 \\ &= 416,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 263,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 153,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Daya Kompresor

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor, } W_c &= \dot{m} \times (h_2 - h_1) = P \\ &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\ &= 220 \times 0,7 \times 0,75 \\ &= 115,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Laju aliran massa refrigeran

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{W_c}{(h_2 - h_1)} \\ &= \frac{0,1155 \text{ Watt}}{(448,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 416,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})} \\ &= 0,0003 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

COP (*Coefficient Of performance*)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{153,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{31,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 4,8 \end{aligned}$$

b) Menggunakan *ejector*

Diambil data ke- 5 dari tabel data lampiran 3

Dengan menggunakan aplikasi *Computer – Aided Thermodynamic*

didapat:

$$h_1 = 420,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 445,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_4 = 266,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Efek refrigerasi

$$\begin{aligned} RE &= h_1 - h_4 \\ &= 420,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 266,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 154,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Daya Kompresor

$$\begin{aligned} \text{Daya kompresor, } W_c &= \dot{m} \times (h_2 - h_1) = P \\ &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\ &= 220 \times 0,7 \times 0,75 \\ &= 115,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Laju aliran massa refrigeran

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{W_c}{(h_2 - h_1)} \\ &= \frac{0,1155 \text{ kW}}{(445,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 420,8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})} \\ &= 0,0046 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \end{aligned}$$

COP (*Coefficient Of performance*)

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \\ &= \frac{154,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{25,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= \frac{110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{105 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\ &= 6,15 \end{aligned}$$

c) Menggunakan pompa vakum

Diambil data ke- 5 dari tabel data lampiran 4

Dengan menggunakan aplikasi *Computer – Aided Thermodynamic* didapat:

$$h_1 = 418,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 444,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_3 = h_4 = 264,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Efek refrigerasi

$$\begin{aligned} \text{RE} &= h_1 - h_4 \\ &= 418,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 264,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 154,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

$$\text{Daya kompresor, } W_c = \dot{m} \times (h_2 - h_1) = P$$

$$\begin{aligned}
 &= V \cdot I \cdot \cos \theta \\
 &= 220 \times 0,7 \times 0,75 \\
 &= 115,5 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

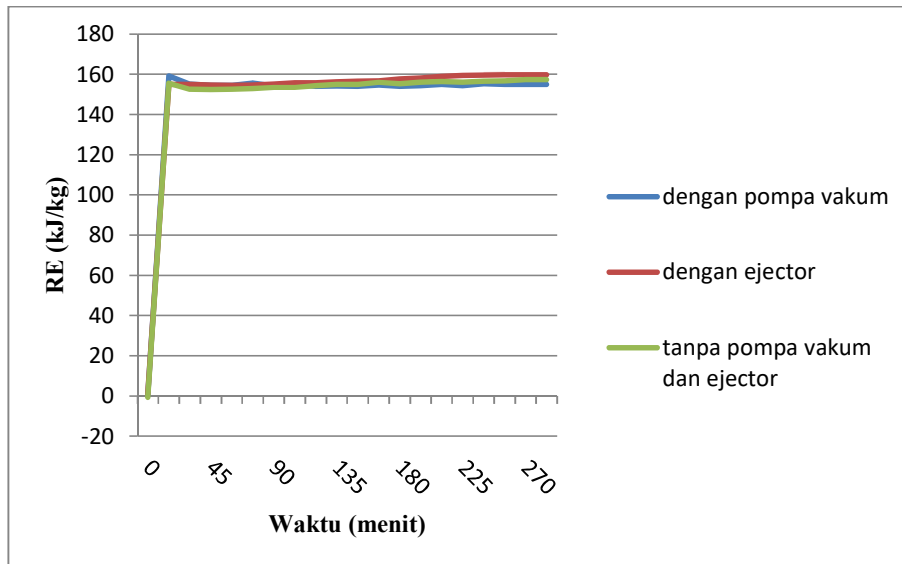
Laju aliran massa refrigeran

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \frac{W_c}{(h_2-h_1)} \\
 &= \frac{0,1155 \text{ kW}}{(444,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 418,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})} \\
 &= 0,0045 \frac{\text{kg}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

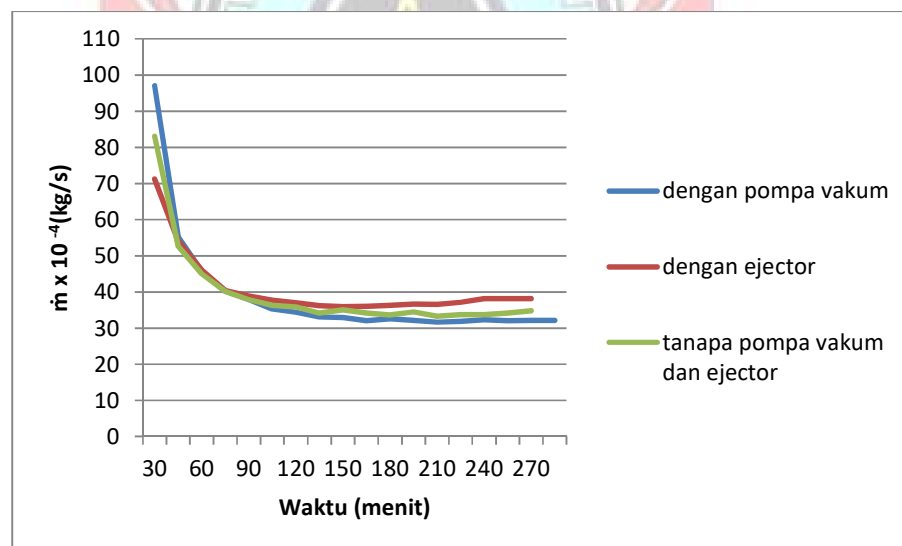
COP (*Coefficient Of performance*)

$$\begin{aligned}
 \text{COP} &= \frac{h_1-h_4}{h_2-h_1} \\
 &= \frac{418,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 264,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{444,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 418,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\
 &= \frac{154,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{25,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \\
 &= 6,08
 \end{aligned}$$

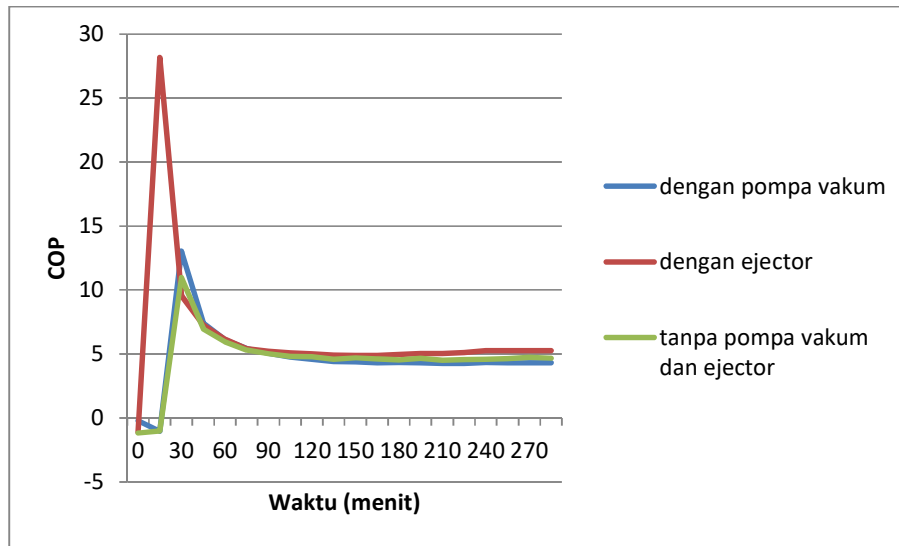
Hasil analisis untuk data-data yang lain dapat dilihat pada lampiran 5 sampai 7 dan diplot pada grafik berikut:



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Efek Refrigerasi



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Laju Aliran Massa Refrigeran

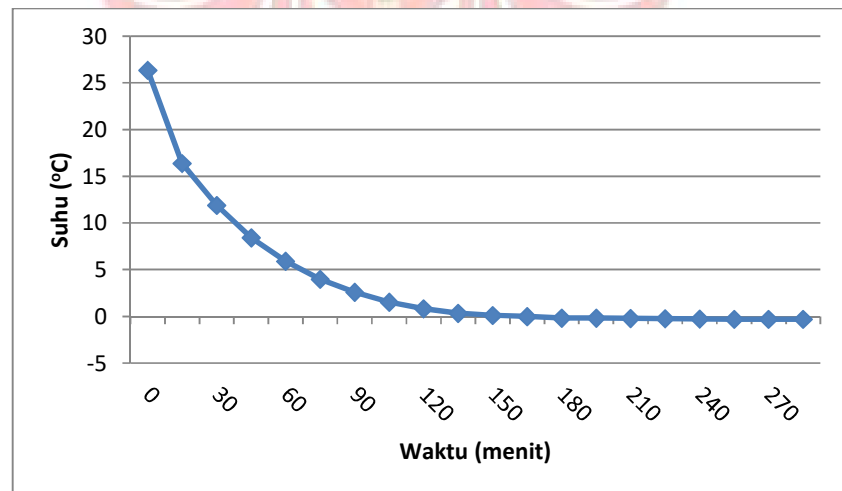


Gambar 4.4 Grafik Perbandingan COP

4.1.3 Pengujian Mesin *Freeze Drying*

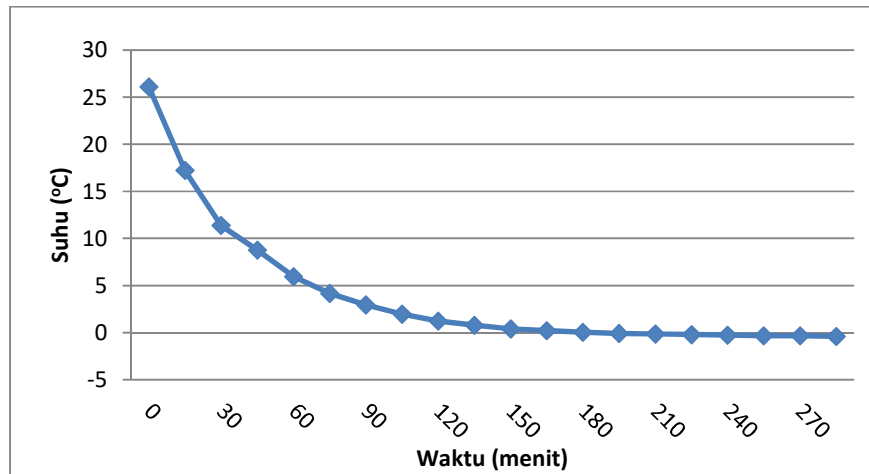
1) Pengujian Tanpa Beban

a) Tanpa Pompa vakum dan *Ejector*



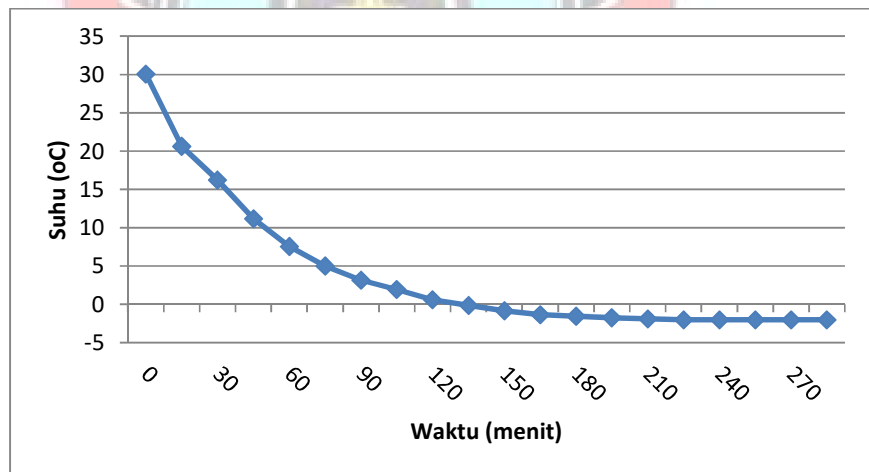
Gambar 4.5 Grafik Penurunan Suhu Terhadap Waktu Tanpa Pompa Vakum Dan *Ejector*.

b) Menggunakan Ejector



Gambar 4.6 Grafik penurunan suhu terhadap waktu dengan ejector.

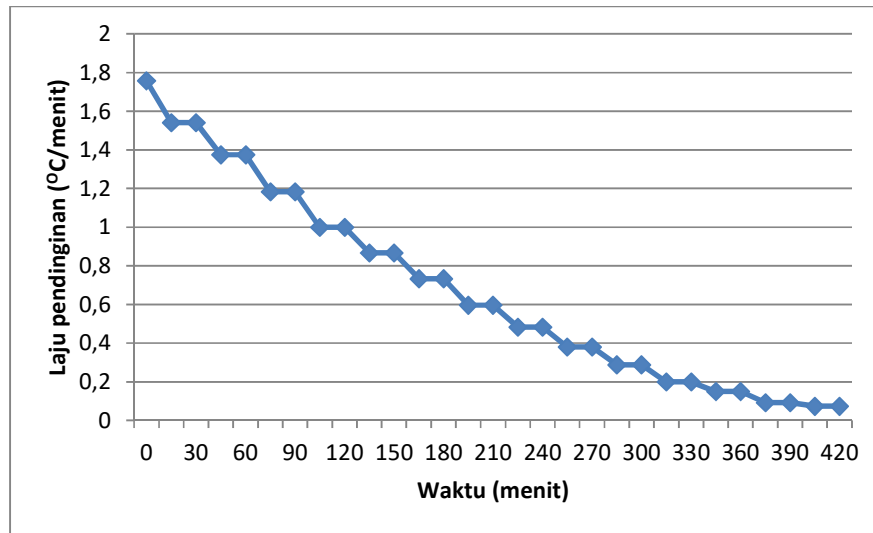
c) Menggunakan Pompa Vacuum



Gambar 4.7 Grafik penurunan suhu terhadap waktu dengan pompa vakum.

2) Pengujian Berbeban

- a) Pengujian dilakukan dengan tekanan vakum 0,58 bar dengan beban ikan 4,13 kg.



Gambar 4.8 Grafik Laju Pendinginan Ikan Bandeng

a.1) Kadar Air

Pada perlakuan ini sistem belum bekerja berdasarkan prinsip mesin *freeze drying* karena tekanan belum mencapai 0,006 bar sesuai dengan yang dipersyaratkan. Namun kadar air ikan tetap mengalami penurunan akibat proses respirasi. Diketahui Massa awal ikan bandeng adalah 4,13 kg dan massa akhirnya 4 kg sehingga:

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{M_{\text{awal}} - M_{\text{akhir}}}{M_{\text{awal}}} \\ &= \frac{4,13 - 4}{4,13} \\ &= \frac{0,13}{4,13} \end{aligned}$$

$$= 0,031\%$$

$$M_2 = \frac{M_{awal} - M_{akhir}}{M_{akhir}}$$

$$= \frac{4,13 - 4}{4}$$

$$= \frac{0,13}{4}$$

$$= 0,032\%$$

a.2) Laju Penyingkiran air (SMER)

$$SMER = \frac{W}{E_{input}}$$

Dengan,

$$E_{input} = W_C + W_{Pompa\ vakum}$$

$$= 155,5 + 1305,5$$

$$= 1461 \text{ Watt}$$

$$= 1,461 \text{ kW}$$

$$SMER = \frac{\frac{0,13 \text{ kg}}{7 \text{ jam}}}{1,461 \text{ kW}}$$

$$= 0,0127 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$



b) Pengujian dilakukan dengan memberi panas secara tiba-tiba pada ikan beku dengan berat 3,48 kg

b.1) Kadar air

Diketahui massa awal ikan bandeng adalah 3,48 kg dan massa akhirnya 3,4 kg sehingga:

$$M_1 = \frac{M_{\text{awal}} - M_{\text{akhir}}}{M_{\text{awal}}}$$

$$= \frac{3,48 - 3,4}{3,48}$$

$$= \frac{0,08}{3,48}$$

$$= 0,022\%$$

$$M_2 = \frac{M_{\text{awal}} - M_{\text{akhir}}}{M_{\text{akhir}}}$$

$$= \frac{3,48 - 3,4}{3,4}$$

$$= \frac{0,08}{3,4}$$

$$= 0,023\%$$

b.2) Laju Penyingkiran air (SMER)

$$\text{SMER} = \frac{W}{E_{\text{input}}}$$

Dengan,

$$E_{\text{input}} = W_C + W_{\text{Pompa vakum}}$$

$$= 155,5 + 1305,5$$

$$= 1461 \text{ Watt}$$

$$= 1,461 \text{ kW}$$

$$\text{SMER} = \frac{\frac{0,08 \text{ kg}}{1 \text{ jam}}}{1,461 \text{ kW}}$$

$$= 0,054 \frac{\text{kg}}{\text{kWh}}$$

4.2 Pembahasan

Perancangan mesin *freeze drying* dibagi menjadi dua bagian utama yaitu perancangan ruang pengering dan perancangan sistem refrigerasi. Ruang pengering dirancang dengan ukuran panjang x lebar x tinggi 0,6 m x 0,5 m x 0,5 m sehingga volumenya adalah 0,15 m³. Bahan yang digunakan adalah plat *stainless steel 304* dengan tebal 2 mm, untuk pintu menggunakan *stainless steel* dengan tebal 3 mm. Berdasarkan pengujian dan grafik yang telah disajikan pada hasil penelitian, tingkat kevakuman yang dapat dicapai oleh ruang pengering adalah 0,58 bar dengan waktu 5 menit. Selanjutnya konstan meskipun pompa vakum dinyalakan terus menerus. Hal ini disebabkan karena sulitnya mendeteksi kebocoran pada ruang pengering atau ketidakmampuan pompa vakum untuk melawan tekanan dari lingkungan terhadap ruang pengering.

Sistem refrigerasi dirancang dengan memperhitungkan beban kalor dari ikan bandeng dan transmisi kalor melalui dinding. Beban kalor keseluruhan adalah 607,11 kJ/kg. Sehingga kapasitas pendinginan dalam ton refrigerasi adalah 0,04 ton refrigerasi atau 0,14 kW. Refrigeran yang digunakan adalah R-134a dengan

temperatur yang dirancang di kondensorr adalah 45°C dan dievaporator adalah -30°C. Dari hasil analisis didapatkan efek refrigerasi 155 kJ/kg, laju aliran massa refrigeran 0,00122 kg/s daya kompressor 128,1 Watt, dan COP 1,01. Sehingga dari analisis tersebut ditentukan daya kompressor yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ HP atau 186,5 Watt, kondensor yang digunakan adalah model 8 U, dan evaporator yang digunakan berukuran 75 x 40 cm.

Gambar 4.2, grafik perbandingan efek refrigerasi antara sistem yang tidak menggunakan pompa vakum dan ejector, menggunakan ejector, dan menggunakan pompa vakum terhadap waktu operasi sistem menunjukkan bahwa pada menit awal hingga ke menit 150 perbandingan ketiganya cenderung sama. Sedangkan pada menit 50 hingga 285 terjadi sedikit perbedaan dimana sistem yang menggunakan ejector sedikit lebih tinggi yaitu 159,8 kJ/kg, disusul tanpa menggunakan ejector dan pompa vakum yaitu 157,4 kJ/kg, kemudian yang menggunakan pompa vakum yaitu 155 kJ/kg.

Gambar 4.3. grafik perbandingan laju aliran massa antara sistem yang tidak menggunakan pompa vakum dan ejector, menggunakan ejector, dan menggunakan pompa vakum terhadap waktu operasi sistem menunjukkan bahwa pada menit awal hingga ke menit 90 perbandingan ketiganya cenderung sama. Sedangkan pada menit 90 hingga 285 terjadi sedikit perbedaan dimana sistem yang menggunakan ejector sedikit lebih tinggi yaitu 0,003812 kg/s, disusul tanpa menggunakan ejector dan pompa vakum yaitu 0,003438 kg/s, kemudian yang menggunakan pompa vakum yaitu 0,003217 kg/s.

Gambar 4.4, grafik perbandingan COP antara sistem yang tidak menggunakan pompa vakum dan ejector, menggunakan ejector, dan menggunakan pompa vakum terhadap waktu operasi sistem menunjukkan bahwa pada menit awal hingga ke menit 90 ketiganya cenderung sama dan mengalami fluktuasi. Sedangkan pada menit 90 hingga 285 terjadi sedikit perbedaan dimana sistem yang menggunakan ejector sedikit lebih tinggi yaitu 5,27, disusul tanpa menggunakan ejector dan pompa vakum yaitu 4,68, kemudian yang menggunakan pompa vakum yaitu 4,31. COP dari ketiga perlakuan rata-rata berkisar antara 4,3 hingga 6,1.

Dari pembahasan gambar 4.2 sampai 4.4 dapat dijelaskan bahwa pada ejector tidak ada perpindahan udara yang masuk ke ruangan karena tekanan vakumnya sangat kecil. Sementara, penggunaan pompa vakum menarik udara luar masuk ke sistem sehingga terjadi tambahan beban kalor yang berpengaruh pada kinerja peralatan refrigerasi.

Gambar 4.5, Menunjukkan grafik hubungan antara penurunan suhu terhadap waktu sistem yang tidak menggunakan pompa vakum dan ejector. Grafik ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan sistem refrigerasi untuk mencapai 0 °C adalah 165 menit, kemudian cenderung konstan dan pada 285 menit mencapai - 0,3 °C.

Gambar 4.6, Menunjukkan grafik hubungan antara penurunan suhu terhadap waktu sistem yang menggunakan ejector. Grafik ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan sistem refrigerasi untuk mencapai 0 °C adalah 180-195 menit, kemudian cenderung konstan dan pada 285 menit mencapai - 0,395 °C.

Gambar 4.7, Menunjukkan grafik hubungan antara penurunan suhu terhadap waktu sistem yang menggunakan pompa vakum. Grafik ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan sistem refrigerasi untuk mencapai 0 °C adalah 105-120 menit, kemudian cenderung konstan dan pada 285 menit mencapai - 2,053 °C.

Gambar 4.8, Menunjukkan grafik hubungan antara penurunan suhu terhadap waktu sistem dengan kevakuman ruang pengering 0,58 bar dan berat ikan bandeng 4,13 kg. Waktu pengambilan data adalah 7 jam dan suhu yang dapat dicapai adalah 1,07 dan cenderung konstan di sekitaran suhu tersebut.

Penyingkiran air pada sistem ini tetap terjadi meskipun kondisi *freeze drying* belum dapat dicapai. Hal ini disebabkan karena adanya proses respirasi pada ikan bandeng. Kadar air ikan bandeng yang hilang berdasarkan massa basah dan massa kering adalah 0,031 % dan 0,032 % dimana berat awal ikan adalah 4,13 kg dan berat akhirnya adalah 4 kg. Selanjutnya laju penyingkiran air spesifik (*Specific Moisture Removal Rate, SMER*) adalah 0,0127 kg/kWh , dimana energi input adalah 1,461 kW dan jumlah air yang disingkirkan adalah 0,0185 kg/jam.

Karena kondisi *freeze drying* belum tercapai, maka untuk mencapainya bahan dengan kondisi suhu rata-rata 1°C diberi panas secara tiba-tiba dengan kisaran suhu 85 - 100 °C yang merupakan titik jenuh dari ikan bandeng. Berdasarkan perlakuan ini kadar air ikan bandeng yang hilang berdasarkan massa basah dan massa kering adalah 0,022 % dan 0,023 % dimana berat awal ikan adalah 3,48 kg dan berat akhirnya adalah 3,4 kg. Selanjutnya laju penyingkiran air spesifik (*Specific Moisture Removal Rate, SMER*) adalah 0,054 kg/kWh.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Penggunaan ejector dapat meningkatkan nilai COP sistem refrigerasi dimana nilai COP rata-ratanya adalah 5,10. Sementara tanpa penggunaan ejector nilai COP rata-rata sistem refrigerasi hanya 4,79. Namun penggunaan ejector pada mesin *freeze drying* belum memungkinkan untuk mencapai tingkat kevakuman yang dipersyaratkan yaitu minimal 0,006 bar.
- 2) Kadar air ikan bandeng yang hilang dengan suhu akhir 1,1°C dan kevakuman 0,58 bar selama 7 jam adalah 0,031% untuk massa basah dan 0,032% untuk massa kering. Laju penyingkiran air pada proses ini adalah $0,0127 \frac{\text{kg}}{\text{kwh}}$. Kondisi *freeze drying* dapat dicapai dengan memberi panas secara tiba-tiba sesuai dengan titik jenuh ikan yaitu 85-100°C sehingga massa bassah ikan adalah 0,022% dan untuk massa kering yaitu 0,023%.
Laju penyingkiran air pada proses ini adalah $0,0548 \frac{\text{kg}}{\text{kwh}}$.

5.2 Saran

- 1) Menggunakan ejector dengan kapasitas yang lebih besar dan motif fluida yang bisa konstan memberikan gaya.

- 2) Menemukan sistem uji deteksi kebocoran yang akurat pada ruang pengering.



DAFTAR PUSTAKA

- Alhanannasir, A. dkk. 2018. Karakteristik Lama Masak dan Warna Pempek Instan dengan Metode Freeze Drying. *Jurnal Agroteknologi*. XII (2):159.
- Amrullah. dkk. 2017. Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga dengan Variasi Refrigeran. *Jurnal Teknologi Terapan*. III (2):9.
- ASHRAE. 2009. Fundamental. USA.
- Arlisdianto, J. 2012. Pengaruh Wadah Material Terhadap Laju Pengeringan pada Alat Pengering Beku Vakum untuk Aloe vera. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Bao, H. N. D. dkk. 2007. Effects of Dry Ice and Superchilling on Quality and Shelf Life Of Arctic Charr (*Salvelinus Alpinus*) Fillets. *International Journal of Food Engineering*. III (3): 1.
- Belyamin. 2008. Kajian Energi Pengeringan Beku dengan Penerapan Pembekuan Vakum dan Pemanasan dari Bawah. *Disertasi*. Institut Pertanian Bogor.
- Belyamin. R. dkk. 2011. Pengembangan Pengering Beku Pembekuan Vakum dengan Pemanasan Kondenser. *POLITEKNOLOGI*. X (3): 287.
- Dewi N. E. dkk. 2008. Pendinginan Ikan Bandeng (*Chanos Chanos* Forsk.) dengan Es Air Laut Serpihan (Sea Water Flake Ice) dan Analisis Mutunya. *Jurnal Saintek Perikanan*. III (2):27.
- Dharma, T. S. dkk. 2019. Performansi Biologis Induk Bandeng (*Chanos Chanos* Forskall) Hasil Seleksi dalam Mendukung Domestikasi dan Pengembangan Budidaya di Tambak. *Journal of Tropical Biology*. VII (2): 83.
- Chegini G. dkk. 2007. Designing of A Heat Pump Dryer for Drying of Plum. *Jurnal of Research and Application in Agricultural Engineering*. 52 (2): 63.
- Elfrida, T. P. S. dkk. 2012. Pengaruh suhu dan waktu penyimpanan terhadap pertumbuhan bakteri dan fungi ikan bandeng. *Unnes Journal of Life Science*. I (2):101.
- Hafiludin. 2015. Analisis Kandungan Gizi pada Ikan Bandeng yang Berasal dari Habitat yang Berbeda. *Jurnal Kelautan*. XIII (1):37.
- Hariyadi, P. 2013. Freeze Drying Technology: For Better Quality & Flavor Of Dried Products. *Foodreview Indonesia*. XIII (2):53.

- Januari, A. dan A. Martin. 2014. Pengeringan Bengkuang dengan Sistem Pengeringan Beku Vakum (Vacuum Freeze Drying System). *Jom FTEKNIK*. I (2):3.
- Jones, Jerold. W., dan W. F.Stocker. 1989. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Jakarta: Erlangga
- Margana, A. S., dan D. Octaviana. 2017. Kaji Eksperimental Pemanfaatan Panas Kondenser pada Sistem Vacuum Drying untuk Produk Kentang. *Seminar MASTER*. 116. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.
- Marsis, P. W., dan A. Haris. 2012. Pemilihan Fluida Pendingin Pada Mesin Pendingin Ikan (*Freezer*) Kapasitas 1 Ton. *SINTEK*. 6 (1).
- Nugraha, N. A. dkk. 2007. Pengaruh Spasi Nosel Terhadap Unjuk Kerja Ejector Pompa Jet. *Media Mesin*. XIII (1):26.
- Prabowo, H. 2011. Studi eksperimental awal pengaruh variasi kecepatan nozel dan jarak spacing nozel terhadap entrainment ratio ejector udara pada suatu sistem udara balik. *Skripsi*. Depok: Universitas Indonesia.
- Prasetyaningtyas. 2009. Mutu Ikan Bandeng Setelah Perendaman dengan Larutan Bubuk Daun Bakau Merah (*Rhizophora Mucronata Lamk*) dan Penyimpanan Dingin dengan Es Curai. *Skripsi*. Semarang: Universitas Dipenogoro.
- Pujihastuti, I. 2009. Teknologi Pengawetan Buah Tomat dengan Metode Freeze Drying. *Metana*. VI (1):1.
- Perceka, M. L. 2011. Analisis Deskriptif Kemunduran Mutu Kulit Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*) Selama Penyimpanan Suhu Chilling melalui Pengamatan Histologis. *Skripsi*. Institut Pertanian Bogor.
- Riswanto, M. P. 2016. Uji Kinerja Alat Pengering Mekanis Tipe Rak untuk Mengeringkan Stick Singkong. *Skripsi*. Lampung: Universitas Lampung.
- Salam, N. I. dan Darmawati. 2017. Pengaruh Pemberian Pakan Berbeda dengan Bahan Baku Limbah Pertanian terhadap Pertumbuhan dan Efisiensi Pakan Ikan Bandeng (*Chanos Chanos*). *Jurnal Balik Diwa*. VIII (1):36.
- Siregar, K. 2004. Kajian Pengeringan Beku dengan Pembekuan Vakum dan Pemanasan Terbalik untuk Daging Buah Durian. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor

Sugati, D. 2015. Studi Eksperimental Mengenai Liquid-Gas Ejector sebagai Vacuum Pump Menggunakan Swirl Generator. *Disertasi*. Universitas Gajah Mada.

Surachman, H. *et al.* 2008. Pengembangan dan Pengujian Kinerja Termal Pengering Lorong Hibrid Energi Surya-Biomassa Terpadu. *J. Sains dan Teknologi Indonesia* .X (3): 157..

Tambunan, A. H. dkk. 2001. Freeze Drying Characteristics of Medicinal Herbs. *Drying Technology – An International Journal*. XIX (2):313.

Whitmen,W. C., dkk. 1999. *Refrigeration and Air Conditioning Technology*. Thomson Learning: USA.



Lampiran 1. Pengujian

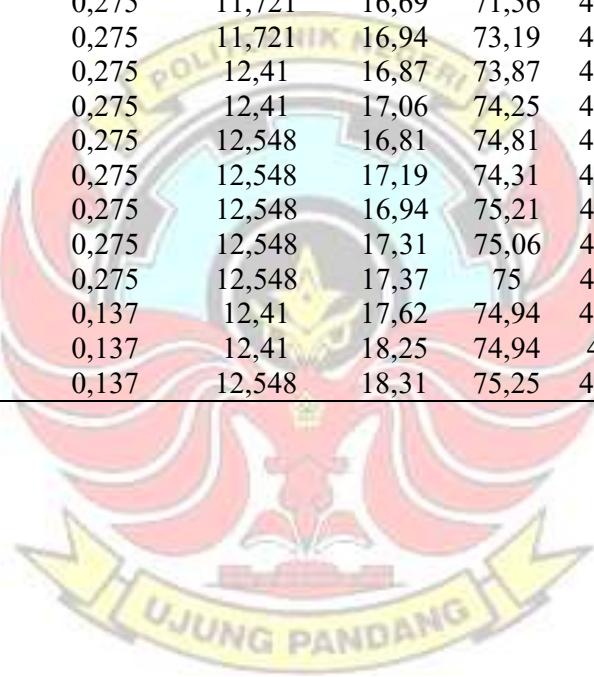
Lampiran 1.1 Tabel Data Pengujian Kevakuman Ruang Pengering

No.	Waktu (menit)	Tekanan (bar)
1.	1	1
2.	2	0,96
3.	3	0,76
4.	4	0,6
5.	5	0,6
6.	6	0,58
7.	7	0,58
8.	8	0,58
9.	9	0,58
10.	10	0,58
11.	11	0,58



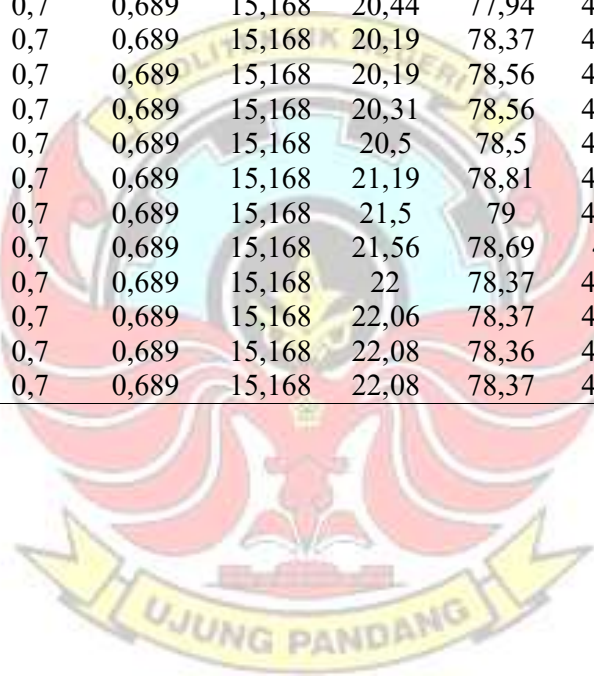
Lampiran 1.2 Tabel Hasil Pengujian Sistem Refrigerasi Tanpa Beban Tanpa Pompa Vakum dan Ejector

No.	Waktu (Menit)	V (V)	I (A)	Pinc (bar)	Poutc (bar)	Tin com (°C)	Tout com (°C)	Tout con (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T _{rata-rata} (°C)
1	0	220	0,7	2,413	2,068	26,87	26,56	30,25	26,37	26,37	26,37
2	15	220	0,7	0,275	11,583	16,75	44,56	43,38	16,44	16,31	16,375
3	30	220	0,7	0,275	11,721	17,19	55,5	45,63	12,12	11,69	11,905
4	45	220	0,7	0,275	11,721	16,87	62,31	45,5	8,13	8,75	8,44
5	60	220	0,7	0,275	11,721	16,62	65,56	45,25	5,44	6,38	5,91
6	75	220	0,7	0,275	11,721	16,12	68	44,88	3,56	4,38	3,97
7	90	220	0,7	0,275	11,721	16,31	69,69	44,63	2,31	2,88	2,595
8	105	220	0,7	0,275	11,721	16,25	70,75	44,5	1,25	1,81	1,53
9	120	220	0,7	0,275	11,721	16,69	71,56	44,19	0,69	1	0,845
10	135	220	0,7	0,275	11,721	16,94	73,19	43,88	0,38	0,31	0,345
11	150	220	0,7	0,275	12,41	16,87	73,87	43,81	0,13	0,13	0,13
12	165	220	0,7	0,275	12,41	17,06	74,25	43,31	0	0	0
13	180	220	0,7	0,275	12,548	16,81	74,81	43,63	-0,19	-0,12	-0,155
14	195	220	0,7	0,275	12,548	17,19	74,31	43,31	-0,19	-0,14	-0,165
15	110	220	0,7	0,275	12,548	16,94	75,21	42,94	-0,19	-0,2	-0,195
16	125	220	0,7	0,275	12,548	17,31	75,06	43,38	-0,19	-0,25	-0,22
17	140	220	0,7	0,275	12,548	17,37	75	43,05	-0,31	-0,25	-0,28
18	155	220	0,7	0,137	12,41	17,62	74,94	43,23	-0,31	-0,31	-0,31
19	170	220	0,7	0,137	12,41	18,25	74,94	43,2	-0,31	-0,31	-0,31
20	185	220	0,7	0,137	12,548	18,31	75,25	43,24	-0,35	-0,25	-0,3



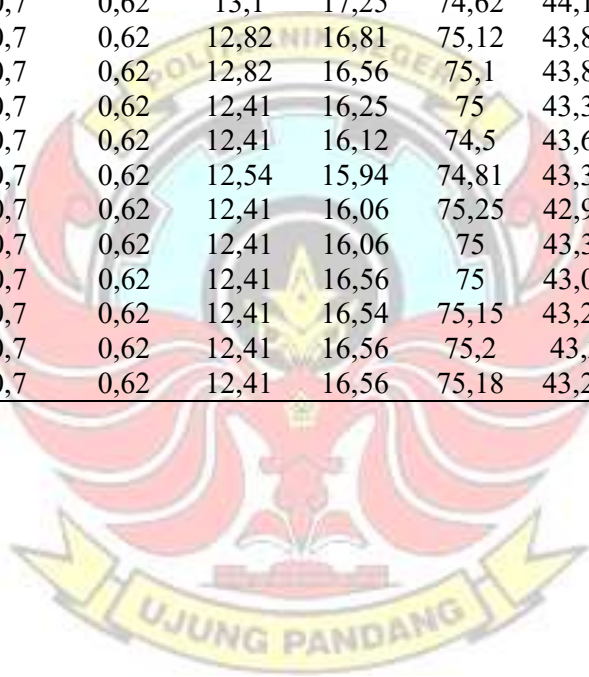
Lampiran 1.3 Tabel Hasil Pengujian Sistem Refrigerasi Tanpa Beban dengan *Ejector*

No.	Waktu (Menit)	V (V)	I (A)	Pin com (bar)	Pout com (bar)	Tin com (°C)	Tout com (°C)	Tout con (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T _{rata-rata} (°C)
1	0	220	0,7	4,136	4,136	31,31	30,31	30,2	30,15	30,13	30,14
2	15	220	0,7	0,689	15,168	25,75	60,75	48,3	16,63	17,81	17,22
3	30	220	0,7	0,689	15,168	24	68	47,4	8,88	13,87	11,37
4	45	220	0,7	0,689	15,168	22,94	71,44	47	7,06	10,5	8,78
5	60	220	0,7	0,689	15,168	22,19	74,06	46,6	4,31	7,63	5,97
6	75	220	0,7	0,689	15,168	21,44	76,12	46,1	2,63	5,69	4,16
7	90	220	0,7	0,689	15,168	21	77,06	45,6	1,63	4,31	2,97
8	105	220	0,7	0,689	15,168	20,81	77,75	45,1	0,81	3,13	4,16
9	120	220	0,7	0,689	15,168	20,44	77,94	44,8	0,13	2,31	2,97
10	135	220	0,7	0,689	15,168	20,19	78,37	44,3	-0,25	1,81	1,97
11	150	220	0,7	0,689	15,168	20,19	78,56	44,1	-0,56	1,38	1,22
12	165	220	0,7	0,689	15,168	20,31	78,56	44,1	-0,69	1,13	0,78
13	180	220	0,7	0,689	15,168	20,5	78,5	43,6	-0,81	0,88	0,41
14	195	220	0,7	0,689	15,168	21,19	78,81	43,7	-0,94	0,75	0,22
15	110	220	0,7	0,689	15,168	21,5	79	43,3	-0,94	0,63	0,035
16	125	220	0,7	0,689	15,168	21,56	78,69	43	-1	0,56	-0,095
17	140	220	0,7	0,689	15,168	22	78,37	43,2	-1,12	0,56	-0,155
18	155	220	0,7	0,689	15,168	22,06	78,37	43,1	-1,19	0,5	-0,22
19	170	220	0,7	0,689	15,168	22,08	78,36	43,1	-0,18	0,5	-0,28
20	185	220	0,7	0,689	15,168	22,08	78,37	43,1	-1,19	0,4	-0,345



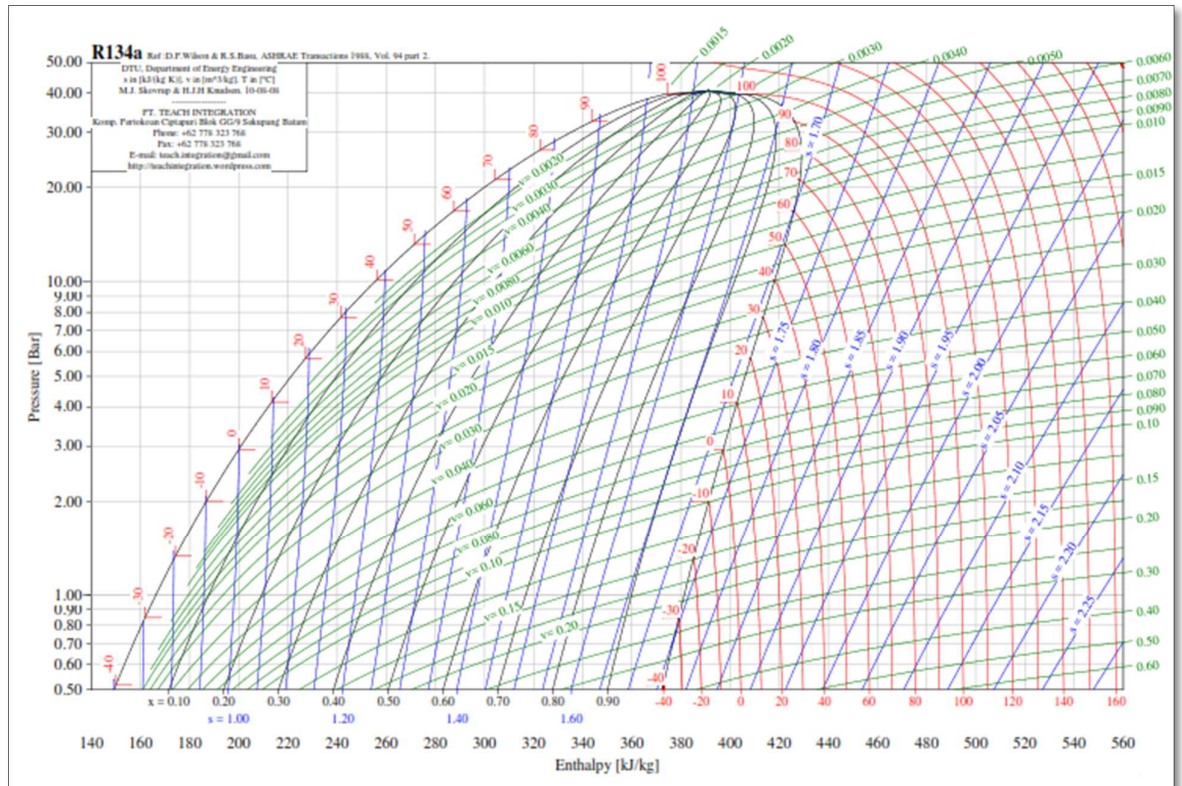
Lampiran 1.4 Tabel Hasil Pengujian Sistem Refrigerasi Tanpa Beban dengan Pompa Vakum

No.	Waktu (Menit)	V (V)	I (A)	Pinc (bar)	Poutc (bar)	Tin com (°C)	Tout com (°C)	Tout on (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	T _{rata-rata} (°C)
1	0	220	0,8	2,62	2,62	30,5	29,5	30,25	30,06	30,19	30,075
2	15	220	0,8	0,68	13,78	21,75	47,69	43,38	20,44	20,87	20,655
3	30	220	0,7	0,68	13,78	21,12	60	45,63	15,44	17	16,22
4	45	220	0,7	0,68	13,1	20,12	65,62	45,5	9,94	12,37	11,155
5	60	220	0,7	0,68	13,37	19,69	69,5	45,25	6,19	8,94	7,565
6	75	220	0,7	0,68	13,1	18,94	71,56	44,88	3,58	6,44	5,01
7	90	220	0,7	0,62	13,1	18,12	72,62	44,63	1,94	4,38	3,16
8	105	220	0,7	0,62	13,1	17,56	74,06	44,5	0,81	3,06	1,935
9	120	220	0,7	0,62	13,1	17,25	74,62	44,19	-0,44	1,63	0,595
10	135	220	0,7	0,62	12,82	16,81	75,12	43,88	-1,06	0,75	-0,155
11	150	220	0,7	0,62	12,82	16,56	75,1	43,81	-1,69	0	-0,845
12	165	220	0,7	0,62	12,41	16,25	75	43,31	-2,06	-0,69	-1,375
13	180	220	0,7	0,62	12,41	16,12	74,5	43,63	-2,25	-0,87	-1,56
14	195	220	0,7	0,62	12,54	15,94	74,81	43,31	-2,37	-1,12	-1,745
15	110	220	0,7	0,62	12,41	16,06	75,25	42,94	-2,5	-1,31	-1,905
16	125	220	0,7	0,62	12,41	16,06	75	43,38	-2,62	-1,44	-2,03
17	140	220	0,7	0,62	12,41	16,56	75	43,05	-2,63	-1,44	-2,035
18	155	220	0,7	0,62	12,41	16,54	75,15	43,23	-2,62	-1,44	-2,03
19	170	220	0,7	0,62	12,41	16,56	75,2	43,2	-2,62	-1,43	-2,025
20	185	220	0,7	0,62	12,41	16,56	75,18	43,24	-2,63	-1,44	-2,035



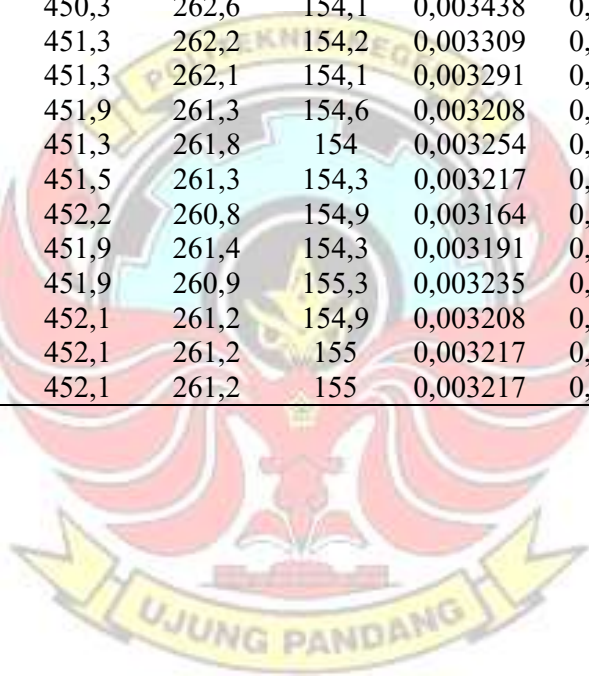
Lampiran 2. Hasil Analisis Data dan Percobaan

Lampiran 2.1 Diagram P – h R134a



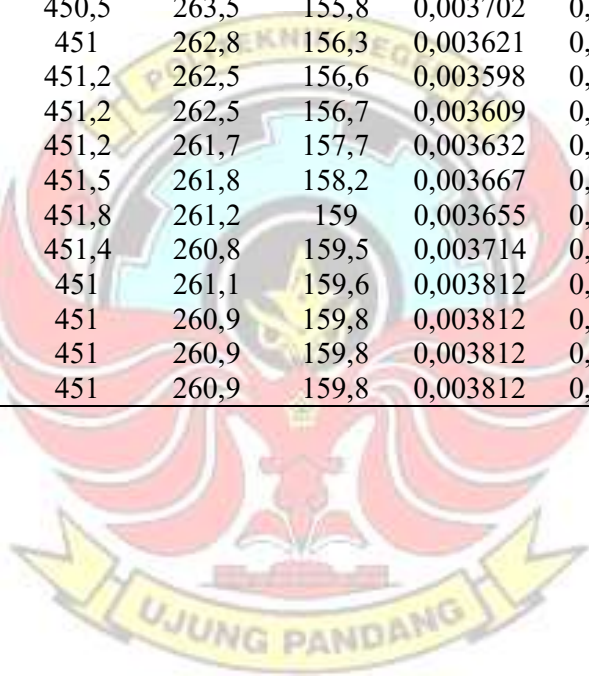
Lampiran 2.2 Tabel Hasil Analisis Data Pengujian Sistem Refrigerasi dengan Pompa Vakum

No.	h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_4 (kJ/kg)	RE (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Wc (Watt)	COP
1	424,4	423,5	424,2	0,2	-0,12833	0,1155	-0,22222
2	420,5	268	261,4	159,1	-0,00076	0,1155	-1,04328
3	419,9	431,8	264,8	155,1	0,009706	0,1155	13,03361
4	419,1	440	264,6	154,5	0,005526	0,1155	7,392344
5	418,7	444	264,2	154,5	0,004565	0,1155	6,106719
6	418,1	446,8	262,4	155,7	0,004024	0,1155	5,425087
7	417,5	448	263,3	154,2	0,003787	0,1155	5,055738
8	417	449,7	261,9	155,1	0,003532	0,1155	4,743119
9	416,7	450,3	262,6	154,1	0,003438	0,1155	4,58631
10	416,4	451,3	262,2	154,2	0,003309	0,1155	4,418338
11	416,2	451,3	262,1	154,1	0,003291	0,1155	4,390313
12	415,9	451,9	261,3	154,6	0,003208	0,1155	4,294444
13	415,8	451,3	261,8	154	0,003254	0,1155	4,338028
14	415,6	451,5	261,3	154,3	0,003217	0,1155	4,29805
15	415,7	452,2	260,8	154,9	0,003164	0,1155	4,243836
16	415,7	451,9	261,4	154,3	0,003191	0,1155	4,262431
17	416,2	451,9	260,9	155,3	0,003235	0,1155	4,35014
18	416,1	452,1	261,2	154,9	0,003208	0,1155	4,302778
19	416,2	452,1	261,2	155	0,003217	0,1155	4,317549
20	416,2	452,1	261,2	155	0,003217	0,1155	4,317549



Lampiran 2.3 Tabel Hasil Analisis Data Pengujian Sistem Refrigerasi dengan Ejector

No.	h_1 (kJ/kg)	H_2 (kJ/kg)	H_4 (kJ/kg)	RE (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Wc (Watt)	COP
1	422,1	421,2	421,1	1	-0,12833	0,1155	-1,11111
2	423,9	429,4	268,9	155	0,021	0,1155	28,18182
3	422,4	438,6	267,5	154,9	0,00713	0,1155	9,561728
4	421,5	442,8	266,9	154,6	0,005423	0,1155	7,258216
5	420,8	445,9	266,3	154,5	0,004602	0,1155	6,155378
6	420,2	448,8	265,5	154,7	0,004038	0,1155	5,409091
7	419,8	449,5	264,7	155,1	0,003889	0,1155	5,222222
8	419,7	450,3	264	155,7	0,003775	0,1155	5,088235
9	419,3	450,5	263,5	155,8	0,003702	0,1155	4,99359
10	419,1	451	262,8	156,3	0,003621	0,1155	4,899687
11	419,1	451,2	262,5	156,6	0,003598	0,1155	4,878505
12	419,2	451,2	262,5	156,7	0,003609	0,1155	4,896875
13	419,4	451,2	261,7	157,7	0,003632	0,1155	4,959119
14	420	451,5	261,8	158,2	0,003667	0,1155	5,022222
15	420,2	451,8	261,2	159	0,003655	0,1155	5,031646
16	420,3	451,4	260,8	159,5	0,003714	0,1155	5,128617
17	420,7	451	261,1	159,6	0,003812	0,1155	5,267327
18	420,7	451	260,9	159,8	0,003812	0,1155	5,273927
19	420,7	451	260,9	159,8	0,003812	0,1155	5,273927
20	420,7	451	260,9	159,8	0,003812	0,1155	5,273927



Lampiran 2.4 Tabel Hasil Analisis Data Pengujian Sistem Refrigerasi Tanpa Pompa Vakum dan *Ejector*

No.	h_1 (kJ/kg)	H_2 (kJ/kg)	H_4 (kJ/kg)	RE (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Wc (Watt)	COP
1	421,4	422	422,1	-0,7	0,22	132	-1,16667
2	417	263,2	261,4	155,6	-0,00086	132	-1,0117
3	417,4	431,3	264,9	152,5	0,008309	115,5	10,97122
4	417,1	439	264,7	152,4	0,005274	115,5	6,958904
5	416,9	442,6	264,3	152,6	0,004494	115,5	5,937743
6	416,5	445,3	263,7	152,8	0,00401	115,5	5,305556
7	416,7	447,2	263,3	153,4	0,003787	115,5	5,029508
8	416,6	448,4	263,1	153,5	0,003632	115,5	4,827044
9	417	449,2	262,7	154,3	0,003587	115,5	4,791925
10	417,2	451	262,2	155	0,003417	115,5	4,585799
11	417,1	450,06	262,1	155	0,003504	115,5	4,70267
12	417,3	451,1	261,3	156	0,003417	115,5	4,615385
13	417,1	451,4	261,8	155,3	0,003367	115,5	4,527697
14	417,4	450,9	261,3	156,1	0,003448	115,5	4,659701
15	417,2	451,9	260,8	156,4	0,003329	115,5	4,507205
16	417,5	451,7	261,4	156,1	0,003377	115,5	4,564327
17	417,5	451,7	260,9	156,6	0,003377	115,5	4,578947
18	418	451,8	261,2	156,8	0,003417	115,5	4,639053
19	418,6	451,8	261,2	157,4	0,003479	115,5	4,740964
20	418,6	452,2	261,2	157,4	0,003438	115,5	4,684524

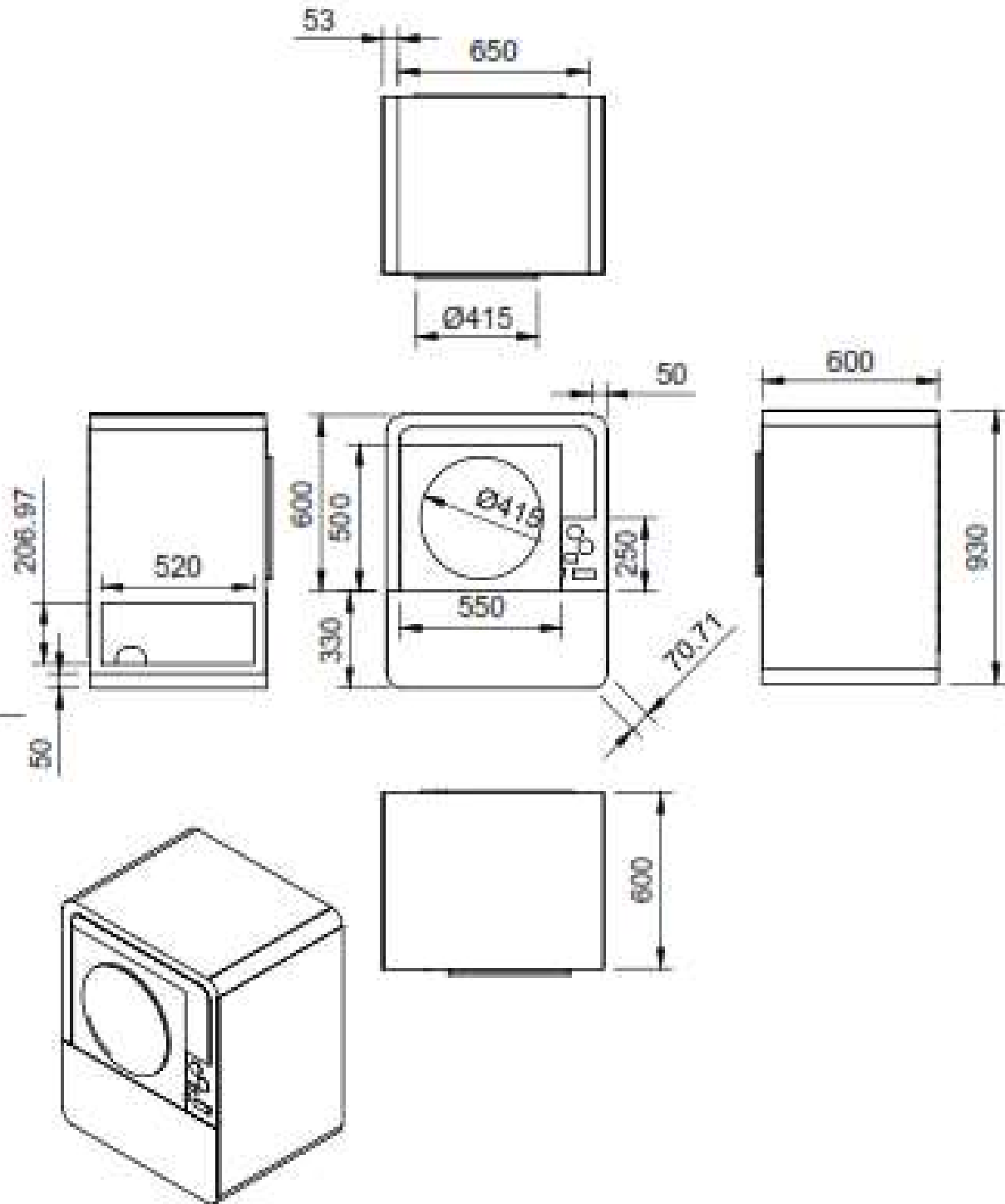


Lampiran 2.5 Tabel Data Pengawetan Ikan

No.	Waktu (Menit)	I (A)	P _{inc} (bar)	P _{outc} (bar)	T _{incom} (°C)	T _{outcom} (°C)	T _{outcon} (°C)	T _{ikan} (°C)
1	0	0,8	5,515	5,515	28,62	32,44	33,75	26,37
2	15	0,8	1,103	15,168	27,53	60,55	50,97	23,12
3	30	0,8	1,103	15,168	27	62,25	51	21,81
4	45	0,7	1,103	15,168	26,37	69,87	53,19	20,62
5	60	0,7	1,103	15,168	26,31	74,5	53,69	19,12
6	75	0,7	0,965	15,168	25,5	77,12	52,94	17,75
7	90	0,7	0,965	15,168	25,06	78,56	52,88	16,25
8	105	0,7	0,965	15,168	24,81	79,44	52,5	15
9	120	0,7	0,965	15,168	24,5	79,75	52,81	13,5
10	135	0,7	0,689	15,168	23,06	67,37	47,44	13
11	150	0,7	0,689	15,168	21,44	68	47,06	11,88
12	165	0,7	0,551	15,168	21,81	68,69	48,31	11
13	180	0,7	0,551	15,168	20,87	68,44	46,94	9,88
14	195	0,7	0,551	15,168	19,87	68,06	46,13	8,94
15	210	0,7	0,551	15,168	20,94	70,12	47,06	7,81
16	225	0,7	0,551	15,168	20,69	73,19	47,75	7,25
17	240	0,7	0,551	15,168	19,19	68,12	45,19	6,38
18	255	0,7	0,551	15,168	18,87	67,12	44,81	5,69
19	270	0,7	0,551	15,168	16,19	66,5	44	5
20	285	0,7	0,551	13,237	18,5	65,56	44,13	4,31
21	300	0,7	0,551	13,1	18,25	69,94	43,13	3,63
22	315	0,7	0,551	13,1	18,19	66,19	43,44	3
23	330	0,7	0,551	13,237	17,81	65,06	43,06	2,63
24	345	0,7	0,551	13,237	17,75	64,44	42,56	2,25
25	360	0,7	0,551	13,237	17,44	64,12	42,63	1,63
26	375	0,7	0,551	13,237	17,44	63,75	42,13	1,38
27	390	0,7	0,551	13,237	17,62	63,13	42,25	1,07
28	405	0,7	0,275	13,1	17,44	63,44	42,25	1,09
29	420	0,7	0,275	13,789	17,44	64,69	42,63	1,1

Lampiran 3. Rancangan dan Pembuatan

Lampiran 3.1 Perancangan dan Pembuatan Ruang Pengering



Dept.	Technical reference: Eropa	Created by: Randi A Pardi 15/10/2020	Approved by:
	Document type:	Document status:	
	Title: Freeze Dryer Skala = 1 : 20	Drawn by:	
	Drawn by:	Date of issue:	Sheet: 1/1

Lampiran 3.2 Perancangan dan Pembuatan Ruang Pengering

 <p>Pengukuran dan pemotongan plat</p>	 <p>Pengukuran dan pemotongan plat</p>
 <p>Bending plat dan pengelasan</p>	 <p>Pembuatan rangka</p>
 <p>Rangka dudukan pintu</p>	 <p>Pemasangan Barometer</p>



Gambar ruang pengering dan rangka



Lampiran 3.3 Perancangan dan Perakitan Sistem Refrigerasi



Pemasangan dan dudukan kompresor



Pemasangan kondensor dan alat ekspansi



Rangkaian pipa-pipa refrigerasi



Pemasangan isolasi dan bodi



Pemasangan panel kontrol



Pengujian dan program sistem kontrol



Pengisian refrigeran



Lampiran 3.4 Instalasi pengujian



Instalasi pengujian tanpa pompa vakum dan ejector



Instalasi pengujian dengan ejector



Instalasi pengujian dengan pompa vakum

Lampiran 4 Dokumentasi

Lampiran 4.1 Dokumentasi Pengujian Ikan Bandeng



Mengukur berat awal ikan bandeng

Memasukkan Ikan bandeng kedalam ruang pengering



Menyalakan kompressor, kontrol, pompa vakum dan pengambilan data



Mengukur berat akhir ikan



Hasil pengujian



Perbandingan antara ikan yang diawetkan dan tidak diawetkan



Hasil Perlakuan pemberian panas pada titik jenuh ikan