

ANALISA BEBAN PENDINGIN PRODUK PADA *CONTACT PLATE FREEZER* TERHADAP KINERJA KOMPRESOR DI PT. TRIMITRA MAKMUR, TARAKAN, KALIMANTAN UTARA

**Samsi^{1*}, Ade Hermawan², Teguh Binardi³, Priyantini Dewi⁴, M. Ilham⁵,
Istianto Budhi Rahardja⁶**

^{1,2,3,4,5} Politeknik Ahli Usaha Perikanan, Jalan AUP No 1 Pasar Minggu Jakarta Selatan

⁶ Teknologi Pengolahan Hasil Perkebunan, Politeknik Kelapa Sawit Citra Widya Edukasi, Bekasi, Indonesia

*Email: mas.samsi36@gmail.com

Diterima: 3 Januari 2023

Direvisi: 14 April 2023

Disetujui: 18 Juni 2023

ABSTRAK

Contact plate freezer (CPF) adalah unit mesin pendingin untuk membekukan produk yang tentunya akan mempertahankan kesegaran produk. Sistem pendinginan berjalan lancar salah satu yang harus diperhatikan adalah beban pendingin pada contact plate freezer. Beban pendingin adalah jumlah kalor yang diserap tiap satuan waktu. Siklus refrigerasi di PT. Trimitra Makmur, menggunakan siklus refrigerasi gabungan (multi-stage cycle), menggunakan dua siklus kompresi uap dengan menggunakan dua kompresor satu tingkat. Kedua kompresor yang digunakan memiliki daya yang sama sebesar 55,92 kW. Adapun komponen utama pada sistem refrigerasi di PT. Trimitra makmur antara lain : Kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Beban pendingin pada contact plate freezer terdiri dari beban panas produk, beban panas air, beban panas internal, dan beban panas transmisi. Pada contact plate freezer tidak diperhitungkan beban infiltrasi atau panas dari udara luar karena pada saat produksi pintu contact plate freezer ditutup rapat sehingga nilai pertukaran udaranya sangat kecil dan dapat diabaikan. Pada penelitian ini didapatkan rata-rata beban total pada contact plate freezer 1 sebesar 23,07079 kW, sehingga beban total rata-rata pada ketiga contact plate freezer di PT. Trimitra Makmur adalah 69,21237 kW. Dari hasil pengambilan data dan perhitungan didapatkan nilai COP pada siklus high-stage 4,33, sehingga daya kompresor high-stage yang terpakai sebesar 1/4,33 dari kapasitas pendinginan pada contact plate freezer. Sedangkan pada siklus booster didapatkan COP senilai 6,49, sehingga daya kompresor booster yang terpakai sebesar 1/6,49 dari kapasitas pendinginan pada contact plate freezer.

Kata kunci: *beban pendingin, coefficient of performance, efek refrigerasi, kerja kompresor.*

ABSTRACT

Contact plate freezer (CPF) is a refrigeration machine unit to freeze products that will certainly maintain product freshness. The cooling system is running smoothly, one thing that should be noted is the cooling load on the contact plate freezer. Cooling load is the amount of heat absorbed per unit of time. Refrigeration cycle at PT. Trimitra Makmur, using a combined refrigeration cycle (multi-stage cycle), using two vapor compression cycles using two single-stage compressors. The two compressors used have the same power of 55.92 kW. As for the main components of the refrigeration system at PT. Trimitra is prosperous, among others: Compressors, condensers, expansion valves, and evaporators. The cooling load on the contact plate freezer consists of product heat load, water heat load, internal heat load, and transmission heat load. In the contact plate freezer, the load of infiltration or heat from the outside air is not calculated because at the time of production the door of the contact plate freezer is closed tightly so the value of air exchange is very small and can be ignored. In this

research, it was found that the average total load on contact plate freezer 1 was 23.07079 kW, so that the average total load on all three contact plate freezers at PT. Trimitra Makmur is 69.21237 kW. From the results of data collection and calculation, the COP value in the high-stage cycle is 4.33, so the power of the high-stage compressor used is 1/4.33 of the cooling capacity of the contact plate freezer. While in the booster cycle, a COP value of 6.49 is obtained, so the booster compressor power used is equal to 1/6.49 of the cooling capacity of the contact plate freezer.

Keywords: *Cooling load, coefficient of performance, refrigeration effect, compressor work.*

LATAR BELAKANG

Refrigerasi adalah suatu usaha untuk mencapai atau memperoleh dan menjaga temperatur lebih rendah dari temperatur atmosfer lingkungan atau sama dengan memindahkan panas dari temperatur rendah ke temperatur tinggi dengan melakukan kerja terhadap sistem (Metty et al., 2012). Pola dan laju penurunan mutu ikan sangat dipengaruhi oleh keadaan temperatur. Dimana semakin tinggi temperatur, semakin cepat pula penurunan mutu kesegaran (Sanger, 2010). Kualitas dan kesegaran udang harus tetap dijaga dengan baik sehingga udang tersebut sampai ke pasar atau ke tangan konsumen (Sahupala & Latuheru, 2016). Semakin tinggi temperatur maka akan semakin cepat bakteri berkembang biak, oleh karena itu perhatian terhadap temperatur produk harus sangat diperhatikan untuk mencegah bakteri dapat berkembang biak.

Contact plate freezer (CPF) adalah unit mesin pendingin untuk membekukan produk yang tentunya akan mempertahankan kesegaran produk. Contact plate freezer sangat cocok untuk membekukan produk- produk perikanan yang dikemas dalam kotak- kotak persegi, dengan bobot 1- 4 kg. Pada pembekuan sistem ini, produk yang dibekukan dijepit di antara dua plat berongga yang diisi refrigeran (Hariadi, 1994).

Beban pendingin pada contact plate freezer perlu diperhatikan agar sistem pendinginan berjalan dengan lancar sehingga hasil dari proses produksi dapat mencapai temperatur yang diinginkan. Namun demikian, kemajuan teknologi refrigerasi yang memunculkan berbagai aneka ragam tipe komponen refrigerasi ini perlu kiranya diimbangi dengan kemampuan sumber daya manusia yang handal dalam mengoperasikan dan perawatan yang baik akan mampu menghindari terjadinya

kerusakan- kerusakan yang dapat menghambat kinerja operasional sebuah unit refrigerasi.

Selain itu, dengan pengoperasian dan perawatan yang tepat diharapkan akan mampu memperpanjang usia pakai mesin, dan tidak kalah pentingnya adalah dapat mengoptimalkan kinerja sebuah unit refrigerasi dan menekan biaya operasional sebuah unit refrigerasi.

METODE PENELITIAN

Penyusunan data dilakukan dengan menggabungkan data yang diperoleh di lapangan kemudian membandingkan dengan teori dari literatur.

Metode Analisa Data

Metode-metode yang digunakan dalam memproses dan menganalisa data selama pelaksanaan penelitian adalah:

1. Analisis deskriptif kualitatif, yaitu dengan mengamati secara langsung kemudian membuat penjelasan yang sistematis, faktual, dan akurat sesuai dengan kegiatan yang penulis lakukan selama di lokasi penelitian, kemudian mengaitkan data yang diperoleh di lapangan dengan studi kepustakaan
2. Analisis deskriptif kuantitatif, yaitu dengan menganalisis data berupa angka atau numerik secara teoritis dan praktis di lapangan, dilanjutkan dengan hasil pengukuran beban pendingin secara keseluruhan dibandingkan dengan kinerja kompressor. Data yang dihasilkan diolah dengan program deskriptif statistik di Microsoft Excel

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam contact plater freezer terdapat wadah yang digunakan untuk membentuk susunan block udang yaitu inner pan dan long pan. Inner pan berfungsi sebagai tempat udang yang

telah disusun dan akan dibekukan dalam bentuk block, dan long pan berfungsi sebagai tempat untuk menyusun inner pan.



Gambar 1. Contact plate freezer PT. Trimitra Makmur

Kapasitas Contact plate freezer

Terdapat 3 contact plate freezer pada ruang produksi di PT. Trimitra Makmur, kapasitas pembekuan pada masing- masing contact plate freezer ini memiliki kesamaan setiap pembekuannya. Pada 1 contact plate freezer dalam sekali produksi mampu memproduksi sekitar 330 inner pan dengan berat udang dalam 1 inner pan sebanyak 1,8 kg. Sehingga kapasitas produksi dalam 1 contact plate freezer adalah 594 kg.



Gambar 2. Inner Pan

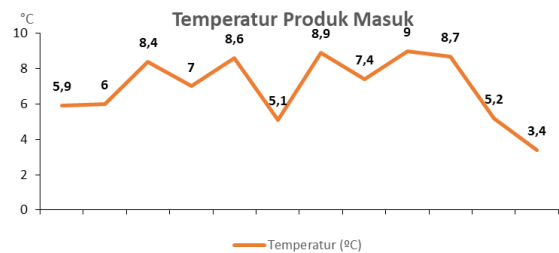


Gambar 3. Long Pan

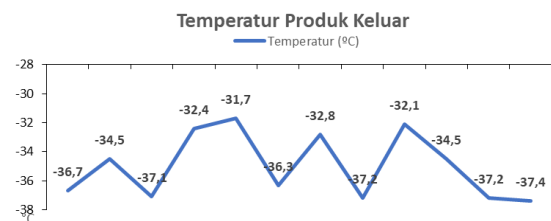
Temperatur Contact plate freezer dan Temperatur Produk

Untuk pengukuran dilakukan pada suhu produk dan suhu evaporator contact plate freezer. Temperatur contact plate freezer dihasilkan dari kerja sistem refrigerasi untuk contact plate freezer didapatkan dari hasil pengukuran -38°C . Dari data yang didapatkan pada ruang produksi di PT. Trimitra Makmur rata- rata suhu produk yang masuk ke dalam

contact plate freezer adalah $6,97^{\circ}\text{C}$ sedangkan temperatur pada saat produk keluar rata- rata adalah -35°C dengan lama proses pembekuan yang diatur selama 2,5 jam. Berikut adalah data temperatur pada produk di PT. Trimitra Makmur.



Gambar 4. Grafik Temperatur Produk Masuk CPF



Gambar 5. Grafik Temperatur Produk Keluar CPF

Pengukuran dan pengambilan data temperatur mengikuti waktu produksi perusahaan dan dilakukan langsung didalam ruang produksi. Jumlah produksi setiap harinya tergantung pada jumlah udang yang masuk ke perusahaan sehingga produksi tidak dilakukan setiap hari. Proses pengambilan data dilakukan selama 12 kali produksi pada contact plate freezer.



Gambar 6. Pengambilan Data Temperatur Produk

Produk

Suhu atau temperatur merupakan salah satu faktor penentu kehidupan udang windu. Kisaran suhu air tambak yang baik bagi kehidupan udang windu adalah 25-30°C (Amri, 2003). Dari tambak, agar kesegaran udang tetap terjaga, udang hasil panen disimpan dan didinginkan di dalam *coolbox* dan diberi es. Menurut Winarno (1997) pendinginan adalah penyimpanan bahan pangan di atas suhu pembekuan yaitu 2-10°C. Udang dari tambak dijual ke pabrik, selanjutnya dilakukan pengolahan sesuai aturan yang berlaku di pabrik dan produk dibekukan dengan menggunakan *contact plate freezer*. Udang yang telah disusun ke dalam pan kemudian diberi air es suhu <5°C sampai penuh, kemudian ditutup dengan penutup pan yang dilapisi plastik blok. Pemberian air es ini bertujuan untuk mencegah terjadinya dehidrasi dan perubahan warna pada udang (Zulfikar, 2016). Temperatur pembekuan pada *contact plate freezer* bisa mencapai -40°C (Savira, 2018). Dari hasil pengukuran pada evaporator *contact plate freezer* di PT. Trimitra Makmur didapatkan temperature pada evaporator -38°C. Proses selanjutnya setelah glazing adalah pengemasan dan pelabelan produk sebelum dimasukkan ke dalam *cold storage*. Cold Storage adalah tempat menyimpan udang yang sudah di packing. Menurut Saulina (2009), udang beku yang telah dikemas dalam *master carton* disimpan dalam ruang penyimpanan beku dengan suhu berkisar antara -20 – (-28) °C.

Pengambilan data temperatur masuk dan keluar produk pada *contact plate freezer* dilakukan selama 12 kali, setelah itu dicari selisih temperatur dari produk selama pengambilan data akan diperoleh :

Tabel 1. Data temperatur produk 12 kali pengambilan data

NO	T1	T2
1	5,9	-36,7
2	6	-34,5

3	8,4	-37,1
4	7	-32,4
5	8,6	-31,7
6	5,1	-36,3
7	8,9	-32,8
8	7,4	-37,2
9	9	-32,1
10	8,7	-34,5
11	5,2	-37,2
12	3,4	-37,4
Rata- rata	6,97	-35

Sumber : PT. Trimitra Makmur

Keterangan :

T1 : Temperatur masuk *contact plate freezer* (°C)

T2 : Temperatur keluar *contact plate freezer* (°C)

Massa Produk dan Massa Air

Massa produk pada sekali produksi dalam *contact plate freezer* rata- rata 594 kilogram yang disesuaikan dengan kapasitas *contact plate freezer*. Kapasitas dalam *contact plate freezer* adalah 330 *inner pan* dengan berat produk di dalam 1 *inner pan* adalah 1,8 kilogram.

Air sangat diperlukan untuk membentuk produk menjadi blok saat membeku, air yang diperlukan pada saat produksi dalam 1 *contact plate freezer* rata- rata adalah 66 liter. Penambahan air pada tiap *inner pan* rata- rata adalah 200 ml.

Perhitungan Beban Produk

Dalam perhitungan beban produk diperlukan beberapa data yang harus diketahui, data data

Rata- rata massa produk = 594 kg

Rata- rata massa air = 66 kg

C udang (panas spesifik udang segar) = 3,75 kJ/kg°C

Ci udang (panas spesifik udang beku) = 1,89 kJ/kg°C

Temperatur rata - rata air = 5 °C

Titik beku udang = -1,94 °C

Titik beku air = 0 °C

Panas laten udang = 253,5 kJ/kg°C

C air (panas spesifik air) = 4,18 kJ/kg°C

(Perry 1984, Heldman 1992 dalam Structural & Handbook, 1999)

$$Q_p = Q_{sb1} + Q_{Lt} + Q_{sb2} + Q_{air}$$

$$\begin{aligned} \text{a) } Q_{sb1} &= m (T_1 - T_b) \times c \\ &= 594 \times (5,9 - 1,94) \times 3,75 \\ &= 2.352,24 \times 3,75 \\ &= 8.820,9 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } Q_{Lt} &= m \times h_{if} \\ &= 594 \times 253,5 \\ &= 150.579 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } Q_{sb2} &= m (T_b - T_2) \times c_i \\ &= 594 (1,94 - 36,7) \times 1,89 \\ &= 39023,66 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } Q_{air} &= m_{air} (T_{1air} - T_{bair}) \times c_{air} \\ &= 66 (5 - 0) \times 4,18 \\ &= 1.379,4 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } Q_p &= Q_{sb1} + Q_{Lt} + Q_{sb2} + Q_{air} \\ &= 8.820,9 + 150.579 + 39023,66 + \\ &1.379,4 \\ &= 199.803 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Laju arus panas per satuan waktu adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_p : t \\ &= 199.803 : (2,5 \times 3600) \\ &= 22,20033 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 2. Data Perhitungan Beban Pendingin Produk pada *Contact plate freezer* selama 12 kali produksi

Data Produk	Massa produk rata-rata (kg)	Beban Pendingin Produk		
		Qsb1	QLt	Qsb2
1	594	8820,9	150.579	39023,66
2	594	9043,65	150.579	36553,81

3	594	14389,65	150.579	39472,73
4	594	11271,15	150.579	34196,22
5	594	14835,15	150.579	33410,36
6	594	7038,9	150.579	38574,6
7	594	15503,4	150.579	34645,29
8	594	12162,15	150.579	39584,99
9	594	15726,15	150.579	33859,43
10	594	15057,9	150.579	36553,81
11	594	7261,65	150.579	39584,99
12	594	3252,15	150.579	39809,52

Tabel 3. Data Perhitungan Beban Pendingin Produk pada *Contact plate freezer* selama 12 kali produksi

Data Produk	Masa produk rata-rata (kg)	Beban Pendingin Produk		
		Qsb1	QLt	Qsb2
1	594	1.379,4	199803	22,20033
2	594	1.379,4	197555,9	21,95065
3	594	1.379,4	205820,8	22,86898
4	594	1.379,4	197425,8	21,9362
5	594	1.379,4	200203,9	22,24488
6	594	1.379,4	197571,9	21,95243
7	594	1.379,4	202107,1	22,45634
8	594	1.379,4	20370	22,6339

		4	5,5	5
9	594	1.379, 4	20154 4	22,3937 8
10	594	1.379, 4	20357 0,1	22,6189
11	594	1.379, 4	19880 5	22,0894 5
12	594	1.379, 4	19502 0,1	21,6689
Beban Rata-rata				22,2512 3

Beban rata-rata produk selama 12 kali produksi selama 2,5 jam pada *contact plate freezer* adalah sebesar 22,25123 kW

Beban Internal

Dalam perhitungan beban refrigerasi internal (peralatan-peralatan lain) dapat di kelompokkan sesuai dengan peralatan yang digunakan guna menunjang kelancaran operasional dari kegiatan produksi yang mempengaruhi perhitungan beban pendingin pada *contact plate freezer* di PT. Trimitra Makmur antara lain adalah *longpan* dan *innerpan*.

a. Longpan

Diketahui :

- Massa : 0,4 kg
- Jumlah longpan : 66
- Temperatur rata-rata awal : 6,97 °C
- Temperatur rata-rata akhir : -35 °C
- Panas spesifik alumunium : 0,95 kJ/kg°C

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{longpan}} &= m (T_2 - T_1) \times c \\
 &= 0,4 (28,03) \times 0,95 \\
 &= 10,651 \times 66 \\
 &= 702,966 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Untuk beban panas dari longpan sebesar pada *contact plate freezer* di PT. Trimitra Makmur sebesar 702,966 kJ.

b. Innerpan

- Massa : 0,2 kg
- Jumlah longpan : 330
- Temperatur rata-rata awal : 6,97 °C
- Temperatur rata-rata akhir : -35 °C

- Panas spesifik alumunium : 0,95 kJ/kg°C

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{innerpan}} &= m (T_2 - T_1) \times c \\
 &= 0,1 (28,03) \times 0,95 \\
 &= 2,663 \times 330 \\
 &= 878,79 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

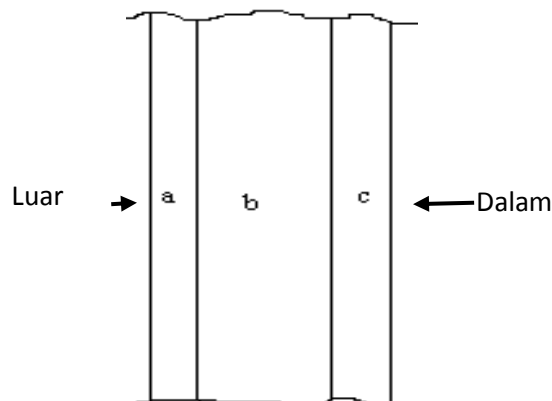
Jadi, beban panas dari *innerpan* pada *contact plate freezer* sebesar 878,79 kJ.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{internal}} &= Q_{\text{longpan}} + Q_{\text{innerpan}} \\
 &= 702,966 + 878,79 \\
 &= 1.581,756 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Laju perpindahan panas per satuan waktu adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{\text{internal}} : t \\
 &= 1.581,756 : (2,5 \times 3600) \\
 &= 0,17575 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Beban Transmisi



Gambar 7. Ilustrasi lapisan pada dinding *contact plate freezer*

Keterangan :

- a. Lapisan alumunium dinding luar : 0,8 cm
- b. Lapisan polyuretan : 15 cm
- c. Lapisan alumunium dinding dalam : 0,8 cm

Adapun suhu disekitar *contact plate freezer* menentukan besarnya kalor yang masuk ke dalam ruang pembekuan yaitu :

1. Pada sisi depan, belakang, samping kanan-kiri, atas dan bawah merupakan ruang produksi dengan temperatur 12 °C.
2. Pada sisi dalam *contact plate freezer* dengan temperatur -38 °C

Tabel 4. Data nilai K dinding *contact plate freezer*

No	Pelapis	Tebal x (m)	Nilai k	X / k
1	Lapisan alumunium dinding	0,008	202	0,0000396
2	Lapisan polyuretan dinding	0,15	0,8	0,1875
3	Faktor film udara luar (fo= 6)			0,166
4	Faktor film udara dalam (fi=1,65)			0,606
Jumlah				0,9595396

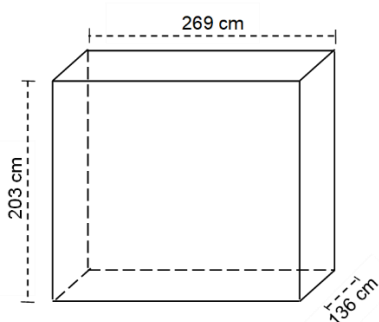
Sumber : PT. Trimitra Makmur

Dengan diketahui nilai k maka dapat diketahui nilai U. Maka nilai faktor perpindahan kalornya yaitu :

$$U = \frac{1}{1/f_0 + x_1/k_1 + \dots + x_n/k_n + 1/f_1}$$

$$= \frac{1}{0,9595396}$$

$$= 1,042166 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Gambar 8. Luas *Contact plate freezer* di PT. Trimitra Makmur

Sedangkan untuk mencari laju aliran kalor (Qd) pada *contact plate freezer* dengan

menggunakan rumus $Q_d = A (\Delta T) U$. Dimana nilai Qd dapat dilihat pada table di bawah ini.

Tabel 5. Nilai Kalor Dari Sisi Dinding *contact plate freezer*

Sisi	Sisi luar T1 ($^{\circ}\text{C}$)	Sisi dalam T2 ($^{\circ}\text{C}$)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)
Atas	12	-38	26
Bawah	12	-38	26
Kiri	12	-38	26
Kanan	12	-38	26
Depan	12	-38	26
Belakang	12	-38	26

Tabel 6. Nilai Kalor Dari Sisi Dinding *contact plate freezer*

Sisi	Luas permukaan (A) m^2	U W/m^2 $^{\circ}\text{C}$	Q d (Watt)
Atas	3,66	1,04216	99,1725
Bawah	3,66	1,04216	99,1725
Kiri	2,76	1,04216	74,7858
Kanan	2,76	1,04216	74,7858
Depan	5,46	1,04216	147,945
Belakang	5,46	1,04216	147,945
JUMLAH			643,808

Sumber : PT. Trimitra Makmur

Tabel 7. Beban Pendingin Total Produksi Selama 2,5 jam

Data Produk	Beban Pendingin			
	Qp (kW)	Qd (kW)	Q _{int} (kW)	Qt (kW)
1	22,20033	0,6438085	0,175751	23,01989
2	21,95065	0,6438085	0,175751	22,77021
3	22,86898	0,6438085	0,175751	23,68854
4	21,9362	0,6438085	0,175751	22,75576
5	22,24488	0,6438085	0,175751	23,06444
6	21,95243	0,6438085	0,175751	22,77199
7	22,45634	0,6438085	0,175751	23,2759

8	22,63395	0,6438085	0,175751	23,45351
9	22,39378	0,6438085	0,175751	23,21334
10	22,6189	0,6438085	0,175751	23,43846
11	22,08945	0,6438085	0,175751	22,90901
12	21,6689	0,6438085	0,175751	22,48846
Rata- rata				23,07079

Jadi, rata- rata beban pendingin pada setiap produksi selama 2,5 adalah sebesar 23,07079 kW. Di PT. Trimitra Makmur terdapat 3 *contact plate freezer*, jadi beban pendingin rata- rata pada ketiga *contact plate freezer* adalah 69,21237 kW.

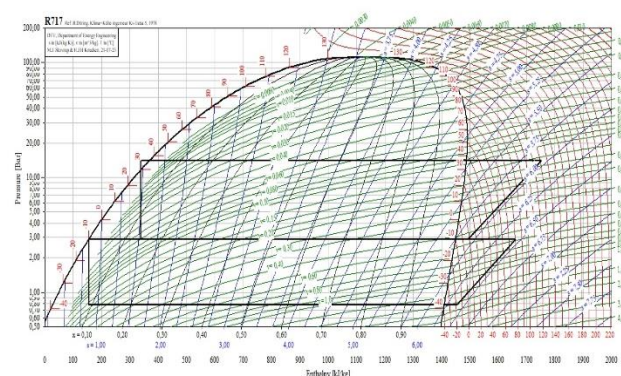
Perhitungan Efek Fefrigerasi

Untuk mengetahui entalpi pada refrigeran dapat ditemukan dengan menggambarkan diagram *mollier*. Refrigeran yang digunakan pada sistem refrigerasi di PT. Trimitra Makmur adalah jenis refrigeran R717 (amonia). Untuk menggambarkan diagram *mollier* dapat memasukkan temperatur kondensasi, evaporasi. Di PT. Trimitra Makmur menggunakan siklus refrigerasi 2 tahap dengan menggunakan 2 kompresor yaitu kompresor *high-stage* dan *booster*, sehingga dalam menggambarkan diagram *mollier* juga harus memasukkan data dari kedua siklus tersebut. Data yang didapatkan di lapangan meliputi :

- Temperatur gas refrigeran yang masuk ke kompresor *booster* : -13,5 °C
- Temperatur kompresi booster : 82,5 °C
- Temperatur kondensasi *booster* : -10° C
- Temperatur evaporasi *booster*: -38°C
- Temperatur gas refrigeran yang masuk ke kompresor *high-stage* : 6,8 °C
- Temperatur kompresi : 132, 8°C
- Temperatur kondensasi *high-stage*: 29,8°C
- Temperatur evaporasi *high-stage* : -10°C

Sumber : PT. Trimitra Makmur

Menggambar diagram *Mollier* dapat menggunakan software *Coolpack* dengan memasukkan data- data temperatur yang didapatkan dari hasil pengamatan



Gambar 9. Diagram *Mollier* pada Sistem Refrigerasi di PT. Trimitra Makmur

Setelah digambarkan dalam diagram *mollier*, maka diketahui :

- h_1 : 1464,54 kJ/kg
- h_2 : 1666,43 kJ/kg
- h_4 : 154,52 kJ/kg
- h_5 : 1491,13 kJ/kg
- h_6 : 1757,1 kJ/kg
- h_8 : 338,096 kJ/kg

Keterangan :

- h_1 : entalpi masuk kompresor *booster*
- h_2 : entalpi keluar kompresor *booster*
- h_4 : entalpi masuk evaporator
- h_5 : entalpi masuk *kompresor high-stage*
- h_6 : entalpi keluar kompresor *high-stage*
- h_8 : entalpi keluar *intercooler*

Dari data entalpi tersebut dapat diketahui nilai efek refrigerasi (ER) dengan perhitungan berikut ini.

Perhitungan efek refrigerasi pada siklus *high-stage* :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{evap}} &= h_5 - h_8 \\
 &= 1491,13 - 338,096 \\
 &= 1153,034 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan efek refrigerasi pada kompresor siklus *booster* :

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{evap}} &= h_1 - h_4 \\
 &= 1464,54 - 154,52 \\
 &= 1310,54 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Kerja Kompresor

Perhitungan kerja kompresor dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut.

Perhitungan kerja kompresor pada siklus *high-stage* :

$$\begin{aligned} Q_{\text{komp}} &= h_6 - h_5 \\ &= 1757,1 - 1491,13 \\ &= 265,97 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Perhitungan kerja kompresor pada siklus *booster* :

$$\begin{aligned} Q_{\text{komp.}} &= h_2 - h_1 \\ &= 1666,43 - 1464,54 \\ &= 201,89 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Perhitungan COP (Coefficient of Performance)

Dari hasil perhitungan efek refrigerasi (Q_{evap}) dan kerja kompresor (Q_{komp}) maka dapat diketahui koefisien kinerja pada sistem refrigerasi.

Perhitungan COP pada kompresor *high-stage* :

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_{\text{evaphigh-stage}}}{Q_{\text{komphigh-stage}}} \\ &= \frac{1153,034}{265,97} \\ &= 4,33 \end{aligned}$$

Perhitungan COP pada kompresor *booster* :

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{Q_{\text{evapbooster}}}{Q_{\text{evapbooster}}} \\ &= \frac{1310,54}{201,89} \\ &= 6,49 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai COP pada kompresor *high-stage* senilai 3,61 dan nilai COP pada kompresor *booster* senilai 4,9.

Perhitungan Daya Kompresor yang Terpakai pada Proses Pembekuan

Dari perhitungan beban pendingin pada *contact plate freezer*, didapatkan beban total refrigerasi (Q_{total}) sebesar 69,21237. Pada perhitungan ini untuk mencari pengaruh besarnya beban pendingin terhadap daya kompresor yang digunakan. Daya yang terpakai pada kompresor (W_{komp}) merupakan perbandingan dari beban total refrigerasi dengan COP (*coefficient of performance*).

Perhitungan daya kompresor *high-stage* :

$$\begin{aligned} W_{\text{komp}} &= \frac{Q_{\text{total}}}{\text{COP}} \\ &= \frac{69,21237}{4,33} \\ &= 15,98 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan daya kompresor *booster* :

$$\begin{aligned} W_{\text{komp.}} &= \frac{Q_{\text{total}}}{\text{COP}} \\ &= \frac{69,21237}{6,49} \\ &= 10,66 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan daya yang terpakai pada proses pembekuan pada kompresor *high-stage* sebesar 19,172 kW dan pada kompresor *booster* 14,125 kW, sehingga dari hasil tersebut dapat dibandingkan dengan daya motor kompresor ($P_{\text{komp.}}$) di PT. Trimitra Makmur, pada kedua kompresor memiliki daya motor yang sama sebesar 55,92 kW.

$$\begin{aligned} \text{Kompresor } high\text{-stage} &= \frac{W_{\text{komp.}}}{P_{\text{komp.}}} \times 100\% \\ &= \frac{15,98}{55,92} \times 100\% \\ &= 28,57\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kompresor } booster &= \frac{W_{\text{komp.}}}{P_{\text{komp.}}} \times 100\% \\ &= \frac{10,66}{55,92} \times 100\% \\ &= 19,06\% \end{aligned}$$

Jadi dari beban total sebesar 69,21237 kW, pemakaian daya kompresor *high-stage* 15,98 kW ataupun sebesar 28,57% dan pemakaian daya kompresor *booster* 10,66 kW atau sebesar 19,06%

KESIMPULAN

1. Rata- rata temperatur produk yang masuk pada *contact plate freezer* (T1) 6,97°C dan temperatur keluar dari *contact plate freezer* (T2) -35°C. Pada setiap perubahan temperatur produk, maka beban pendinginan pada *contact plate freezer* juga akan berubah.
2. Perhitungan beban pendingin pada *contact plate freezer* 1 didapatkan beban pendingin total selama 2,5 jam sebesar 23,07079 kW. Total rata- rata beban pendingin pada 3 *contact plate freezer*

yang ada di PT. Trimitra Makmur selama produksi 69,21237 kW.

3. Didapatkan nilai COP pada siklus *high-stage* 4,33, sehingga daya kompresor *high-stage* yang terpakai sebesar $\frac{1}{4,33}$ dari kapasitas pendinginan pada *contact plate freezer*. Sedangkan pada siklus *booster* didapatkan COP senilai 6,49, sehingga daya kompresor *booster* yang terpakai sebesar $\frac{1}{6,49}$ daripada kapasitas pendinginan pada *contact plate freezer*.

DAFTAR PUSTAKA

- Akan, A. E., Ünal, F., & Özkan, D. B. (2021). Investigation of efficiency of R717 refrigerant single stage cooling system and R717 / R744 refrigerant cascade cooling system. *Turkish Journal of Engineering*, 5(2), 58–64. <https://doi.org/10.31127/tuje.672888>
- Alim, M. I., Mardiana, D., A, A. D., & Anggoro, D. (2017). Uji Konduktivitas Material Non Logam. *Researchgate.Net*, January 2017, 2. https://www.researchgate.net/profile/Mohammad_Istajarul_Alim/publication/338911208_Uji_Konduktivitas_Termal_Material_Non_Logam/links/5e323bdb458515072d6e1def/Uji-Konduktivitas-Termal-Material-Non-Logam.pdf
- Anwar, K. (2010). Efek Beban Pendingin terhadap Performa Sistem Mesin Pendingin. *Jurnal SMARTek*, 8(3), 203.
- Arif, M. I., Makhsud, A., & Sungkono. (2020). *PERANCANGAN COLD STORAGE BERKAPASITAS 1 TON PADA KAPAL NELAYAN TRADISIONAL. 000*.
- ASHRAE. (2008). *Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems And Equipment (Inch-Pound)*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. <http://www.ashrae.org>
- Ayu, C. C. D. P. (2017). *PERANCANGAN UNIT MESIN PENDINGIN (COLD STORAGE) UNTUK PRODUK KARKAS SAPI KAPASITAS 25 TON DENGAN KOMBINASI REFRIGERASI KOMPRESI UAP, REFRIGERASI ABSORPSI, DAN FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR DI KABUPATEN PAMEKASAN-MADURA*.
- Chodrijah, U., & Faizah, R. (2018). BEBERAPA ASPEK BIOLOGI UDANG WINDU (*Penaeus monodon* (Fabricus, 1789) DI PERAIRAN TARAKAN, KALIMANTAN UTARA. *BAWAL Widya Riset Perikanan Tangkap*, 10(1), 49. <https://doi.org/10.15578/bawal.10.1.2018.49-55>
- Choirudin, M. F. (2019). *ANALISA TEKNIS PERENCANAAN SISTEM PENDINGIN RUANG PALKAH IKAN DI KM . BINTANG MAS MURNI DARI REFRIGERAN R-22 (HCFC-22)*. 22, 36–57.
- Denny, W. M. (2012). *Pengaruh Variasi Kosentrasi Larutan Terhadap Performansi Sistem Refrigerasi Absorpsi Air-Ammonia Suarnadwipa. Snttm Xi*, 16–17.
- Desna, N. T., Fitriani, & Handayani, S. (2017). *Proses Pengolahan Udang Windu Headless di PT IXY*. 1–10.
- Dossat, R. J. (1980). Principles of refrigeration. In *International Journal of Refrigeration* (Vol. 3, Issue 3). [https://doi.org/10.1016/0140-7007\(80\)90102-4](https://doi.org/10.1016/0140-7007(80)90102-4)
- Fajarani, R. M., Handoyo, Y., & Rahmanto, R. H. (2019). Analisis Beban Pendinginan Pada Cold Storage Untuk Penyimpanan Daging. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 7(1), 12–22. <https://doi.org/10.33558/jitm.v7i1.1905>
- Faozan, I. (2015). ANALISIS PERBANDINGAN EVAPORATOR KULKAS (LEMARI ES) DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERANT R-22 DAN R-134A. *Jurnal Teknik Mesin*, 04(3), 99–105.
- Gere, J. M., & Timonshenko, S. P. (2000). *Mekanika Bahan* (H. W. Hardani (ed.); Jilid 1 Ed). PENERBIT ERLANGGA.
- Hasbi, G. Al, Budiarto, U., & Amiruddin, U. (2017). Analisa Unjuk Kerja Desain Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada Kapal Ikan Ukuran 5 Gt Di Wilayah Rembang. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(4), 768–778.
- Ihsan, S. (2017). Perencanaan dan Analisa Perhitungan Jumlah Tube dan Diameter Shell pada Kondensor Berpendingin Air pada Sistem Refrigerasi NH 3. In *J. Teknol.*