

ANALISIS EFISIENSI SISTEM PENDINGIN MESIN ES KRISTAL KAPASITAS 50 KG/12 JAM

Galih Ilham Afif Rosyidin, Priyagung Hartono, Nur Robbi

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Islam Malang

Jl. Mayjen Haryono No. 193 Telp +62-341-565544; Fax.+62-341-552249 Malang 65144

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi mesin pendingin pada mesin es kristal dengan kapasitas 50 kg. metode eksperimnetal digunakan untuk mengukur performa mesin pendingin, termasuk konsumsi energi dan suhu es yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukan bahwa efisiensi sistem dapat ditingkatkan dengan peningkatan control suhu dan optimalisasi siklus pendinginan. Implikasi temuan ini dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan efisiensi operasional mesin es kristal dalam skala produksi 50 kg/12 jam.

Analisis efisiensi sistem pendingin dengan data sebagai berikut: Sistim refrigerasi adalah energi yang diserap kompresor=1209,72 kJ/kg, energi yang diserap evaporator=-765,6261 kJ/kg, energi yang diserap kondensor=34350,525 kJ/kg, dan energi yang diserap katup ekspansi=11484,3915 kJ/kg. Dengan perbedaan suhu, waktu produksi, dan variasi arus Listrik menghasilkan data yang berbeda.

Kata kunci: sistem pendingin, performa mesin es, konsumsi energi, control suhu, siklus pendinginan, dan optimasi operasional.

PENDAHULUAN

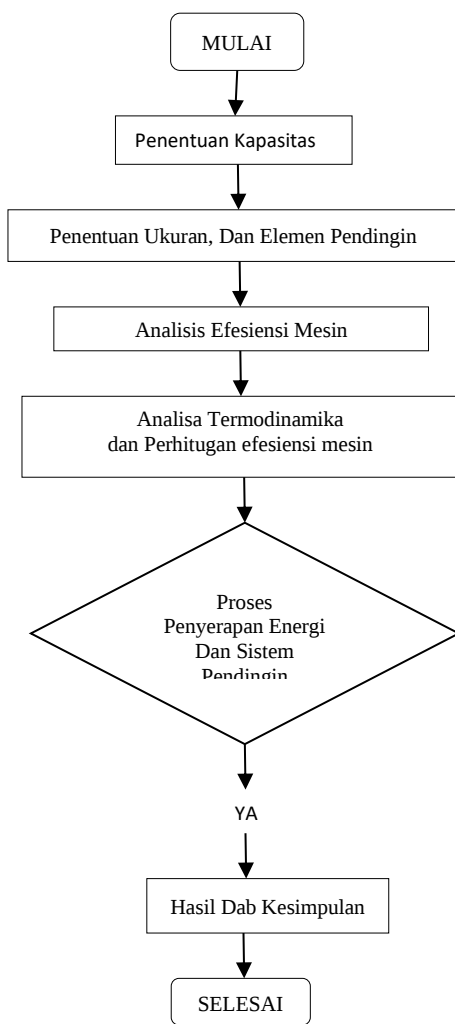
Hasil produksi mesin es kristal merupakan salah satu jenis kebutuhan yang perlu mendapat perhatian pada saat sekarang ini. Di satu sisi, Indonesia merupakan usaha UMKM (Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah) terbesar di Asia Tenggara sehingga sektor UMKM (Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah) memegang andil penting dalam perekonomian nasional. Pengelolaan sumber daya UMKM (Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah) di masyarakat Indonesia memerlukan pengelolaan, perencanaan, dan analisis yang baik agar UMKM (Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah) di Indonesia tetap mendapatkan hasil yang maksimal (Ayu Andriyani 2018). Sistem Refrigerated adalah sebuah teknologi penanganan hasil cetak yang dirancang khusus, dipasang sebagai menampung mesin produksi es kristal sehingga es kristal menghasilkan es tertentu yang mempunyai nilai ekonomis dan dapat dipertahankan kualitasnya, tetapi seberapa besar efektifitas dan efisiensinya merupakan pertanyaan besar yang perlu dijawab dengan pengujian terhadap produk yang ada (Dossat, Roy 2018). Dengan demikian diperlukan penelitian yang mengkaji, baik secara teknis maupun secara ekonomis, penggunaan sistem refrigerated sebagai sistem pendingin pada mesin es kristal untuk kalangan usaha kecil dan skala rumah

tangga sampai besar yang mana pada akhirnya dapat meningkatkan produktifitas dan tingkat kesejahteraan pengusaha dan konsumsi itu sendiri (Budiarto, Untung,2019).

Efisiensi sistem pendingin (*cold storage*) es kristal dengan kapasitas 50 kg/12 jam yang dapat digunakan untuk mendinginkan air membutuhkan energi serap yang akan merubah bentuk menjadi es kristal hasil mencetak es kristal agar kualitas dan mutu es ketika berada di pabrik sampai dibawa ketempat penjualan yakni di retor-an-restoran sampai pelaku konsumsi rumah tangga ketika didiamkan dalam keadaan masih berbentuk es tidak mencair, sehingga dapat harga jual maupun dikonsumsi secara langsung es kristal tidak turun dan tidak cair. (Stoecker,2018). Efisiensi sistem pendingin dimulai dari mengetahui beban energi yang diserap oleh komponen sistem pendingin, sehingga akan menghasilkan produksi menjadi es kristal, dari penentuan jumlah energi pada kompresor, jumlah energi pada evaporator, dan jumlah energi pada kondensor. Selanjutnya menghitung beban pendingin, setelah menemukan hasil dari perhitungan beban pendingin , maka langkah selanjutnya dapat menentukan dan memilih jenis komponen mesin pendingin yang diinginkan atau direncanakan. Dan langkah terakhir adalah gambar desain (Stoecker,2018).

Dalam perancangan ini produk yang didinginkan adalah air yang di rubah menjadi bentuk es kristal hasil es kristal, yang direncanakan ses kristal menghasilkan sebanyak 50 kg, karena jenis air yang bervariasi maka dalam perancangan ini produk yang didinginkan di asumsikan air bersih. Masa jenis air bersih = 997 kg/m^3 (FAO, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), dan temperatur awal air adalah 100°C . (Nontji, A. 2019)

METODE PERANCANGAN



Gambar 1 : Diagram alir Perancanga PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 220

1. Nilai Waktu Produksi rata-rata $\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_{24}}{n}$
 $\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$
 $\bar{T} = \frac{96}{5}$

$$\bar{T} = 19,2$$

2. Nilai Kapasitas rata-rata $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{w_1+w_2+w_3+\dots+w_{24}}{n}$
 $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$
 $\bar{W} = \frac{12.1}{5}$
 $\bar{W} = 2,42$
3. Nilai Temperatur Kompresor rata-rata $\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n} = \frac{Q_1+Q_2+Q_3+\dots+Q_{24}}{n}$
 $\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$
 $\bar{Q} = \frac{329}{5}$
 $\bar{Q} = 65,8$
4. Nilai Suhu Air rata-rata $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} = \frac{T_{a1}+t_{a2}+t_3+\dots+t_{24}}{n}$
 $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$
 $\bar{t}_a = \frac{80}{5}$
 $\bar{t}_a = 16$
5. Nilai Suhu Es rata-rata $\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1}+t_{e2}+t_{e3}+\dots+t_{e24}}{n}$
 $\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n}$
 $\bar{t}_e = \frac{-3}{5}$
 $\bar{t}_e = -0,6$
6. Nilai Suhu Lingkungan rata-rata $\bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_1^{24} t_{Ln}}{n} = \frac{t_{l1}+t_{l2}+t_{l3}+\dots+t_{l24}}{n}$
 $\bar{t}_l = \frac{\sum_1^{24} t_{Ln}}{n}$
 $\bar{t}_l = \frac{105}{5}$
 $\bar{t}_{Ln} = 21$
7. Nilai Defros rata-rata $\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} N}{n} = \frac{n_1+n_2+n_3+\dots+n_{24}}{n}$
 $\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} t_n}{n}$
 $\bar{N} = \frac{20}{5}$
 $\bar{N} = 4$

Tabel 4.2 Data Hasil Voltase 220 Total

Data	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
------	-----------	-----------	-----------	-------------	-------------	----------------	-----------

1	19,2	2,42	65,8	16	- 0,6	21	4
Σ							127,82

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 200

1. Nilai Waktu Produksi rata-rata $\bar{T} =$

$$\frac{\sum_1^{24} T_n}{n} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{24}}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{100}{5}$$

$$\bar{T} = 20$$

2. Nilai Kapasitas rata-rata $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} =$

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{12}{5}$$

$$\bar{W} = 2,4$$

3. Nilai Temperatur Kompresor rata-rata $\bar{Q} =$

$$\frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{24}}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{348}{5}$$

$$\bar{Q} = 69,6$$

4. Nilai Suhu Air rata-rata $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} =$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{78}{5}$$

$$\bar{t}_a = 15,6$$

5. Nilai Suhu Es rata-rata $\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n} =$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-7}{5}$$

$$\bar{t}_e = -1,4$$

6. Nilai Suhu Lingkungan rata-rata $\bar{t}_{ln} =$

$$\frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1} + t_{l2} + t_{l3} + \dots + t_{l24}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{104}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 20,8$$

7. Nilai Defros rata-rata $\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} N}{n} =$

$$\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{20}{5}$$

$$\bar{N} = 4$$

Tabel 4.4 Data Hasil Voltase 200 Total

Data	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{ln}$	$\bar{N}$
1	20	2,4	69,6	15,6	- 1,4	20,8	4
Σ							131

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 190

1. Nilai Waktu Produksi rata-rata $\bar{T} =$

$$\frac{\sum_1^{24} T_n}{n} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{24}}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{88}{5}$$

$$\bar{T} = 17,6$$

2. Nilai Kapasitas rata-rata $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} =$

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{11}{5}$$

$$\bar{W} = 2,2$$

3. Nilai Temperatur Kompresor rata-rata $\bar{Q} =$

$$\frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{24}}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{353}{5}$$

$$\bar{Q} = 70,6$$

4. Nilai Suhu Air rata-rata $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} =$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{83}{5}$$

$$\bar{t}_a = 16,6$$

$$5. \text{ Nilai Suhu Es rata-rata } \bar{t}_e = \frac{\sum_{1}^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1}+t_{e2}+t_{e3}+\dots+t_{e24}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_{1}^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-9}{5}$$

$$\bar{t}_e = -1,8$$

$$6. \text{ Nilai Suhu Lingkungan rata-rata } \bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_{1}^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1}+t_{l2}+t_{l3}+\dots+t_{l24}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_{1}^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{107}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 21,4$$

$$7. \text{ Nilai Defros rata-rata } \bar{N} = \frac{\sum_{1}^{24} N}{n} = \frac{n_1+n_2+n_3+\dots+n_{24}}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{1}^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{26}{5}$$

$$\bar{N} = 5,2$$

Tabel 4.6 Data Hasil Voltase 190 Total

Dat a	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
1	17, 6	2, 2	70, 6	16, 6	- 1, 8	21, 4	5,2
Σ							313, 8

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 180

$$1. \text{ Nilai Waktu Produksi rata-rata } \bar{T} = \frac{\sum_{1}^{24} T_n}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_{24}}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_{1}^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{112}{5}$$

$$\bar{T} = 22,4$$

$$2. \text{ Nilai Kapasitas rata-rata } \bar{W} = \frac{\sum_{1}^{24} w_n}{n} = \frac{w_1+w_2+w_3+\dots+w_{24}}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{\sum_{1}^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{11,7}{5}$$

$$\bar{W} = 2,34$$

$$3. \text{ Nilai Temperatur Kompresor rata-rata } \bar{Q} = \frac{\sum_{1}^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1+Q_2+Q_3+\dots+Q_{24}}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{1}^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{373}{5}$$

$$\bar{Q} = 74,6$$

$$4. \text{ Nilai Suhu Air rata-rata } \bar{t}_a = \frac{\sum_{1}^{24} t_{an}}{n} = \frac{T_{a1}+t_{a2}+t_{a3}+\dots+t_{a24}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_{1}^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{82}{5}$$

$$\bar{t}_a = 16,4$$

$$5. \text{ Nilai Suhu Es rata-rata } \bar{t}_e = \frac{\sum_{1}^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1}+t_{e2}+t_{e3}+\dots+t_{e24}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_{1}^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-15}{5}$$

$$\bar{t}_e = -3$$

$$6. \text{ Nilai Suhu Lingkungan rata-rata } \bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_{1}^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1}+t_{l2}+t_{l3}+\dots+t_{l24}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_{1}^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{119}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 23,8$$

$$7. \text{ Nilai Defros rata-rata } \bar{N} = \frac{\sum_{1}^{24} N}{n} = \frac{n_1+n_2+n_3+\dots+n_{24}}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{1}^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{30}{5}$$

$$\bar{N} = 6$$

Tabel 4.8 Data Hasil Voltase 180 Total

Dat a	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
1	22, 4	2,3 4	74, 6	16, 4	- 3	23, 8	6
Σ							812,5 4

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 170

$$1. \text{ Nilai Waktu Produksi rata-rata } \bar{T} = \frac{\sum_{1}^{24} T_n}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_{24}}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{88}{5}$$

$$\bar{T} = 17,6$$

2. Nilai Kapasitas rata-rata $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_{24}}{n}$

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{10,7}{5}$$

$$\bar{W} = 2,14$$

3. Nilai Temperatur Kompresor rata-rata $\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{24}}{n}$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{345}{5}$$

$$\bar{Q} = 69$$

4. Nilai Suhu Air rata-rata $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} = \frac{T_{a1} + t_{a2} + t_3 + \dots + t_{24}}{n}$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{74}{5}$$

$$\bar{t}_a = 14,8$$

5. Nilai Suhu Es rata-rata $\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1} + t_{e2} + t_{e3} + \dots + t_{e24}}{n}$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-12}{5}$$

$$\bar{t}_e = -2,4$$

6. Nilai Suhu Lingkungan rata-rata $\bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1} + t_{l2} + t_{l3} + \dots + t_{l24}}{n}$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{115}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 31$$

7. Nilai Defros rata-rata $\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} N}{n} = \frac{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_{24}}{n}$

$$\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{28}{5}$$

$$\bar{N} = 5,6$$

Tabel 4.10 Data Hasil Voltase 170 Total

Dat a	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
1	17, 6	2,1 4	6 9	14, 8	- 2,4 1	31	5,6
$\bar{x}$							137,7 3

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 160

1. Nilai Waktu rata-rata $\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{24}}{n}$

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{135}{5}$$

$$\bar{T} = 27$$

2. Nilai Kapasitas rata-rata $\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{w_1 + w_2 + w_3 + \dots + w_{24}}{n}$

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{8}{5}$$

$$\bar{W} = 1,6$$

3. Nilai Temperatur Kompresor rata-rata $\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_{24}}{n}$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{359}{5}$$

$$\bar{Q} = 71,8$$

4. Nilai Suhu Air rata-rata $\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} = \frac{T_{a1} + t_{a2} + t_3 + \dots + t_{24}}{n}$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{86}{5}$$

$$\bar{t}_a = 17,2$$

5. Nilai Suhu Es rata-rata $\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1} + t_{e2} + t_{e3} + \dots + t_{e24}}{n}$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-9}{5}$$

$$\bar{t}_e = -1,8$$

$$6. \text{ Nilai Suhu Lingkungan rata-rata } \bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1}+t_{l2}+t_{l3}+\dots+t_{l24}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{117}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 23,4$$

$$7. \text{ Nilai Defros rata-rata } \bar{N} = \frac{\sum_1^{24} N}{n} = \frac{n_1+n_2+n_3+\dots+n_{24}}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{25}{5}$$

$$\bar{N} = 5$$

Tabel 4.12 Data Hasil Voltase 160 Total

Data	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
1	27	1,6	71,8	17,2	- 1,8	23,4	5
Σ							144,2

MENGHITUNG NILAI RATA-RATA DALAM VOLTASE 150

$$1. \text{ Nilai Waktu Produksi rata-rata } \bar{T} =$$

$$\frac{\sum_1^{24} T_n}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_{24}}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_1^{24} T_n}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{91}{5}$$

$$\bar{T} = 18,2$$

$$2. \text{ Nilai Kapasitas rata-rata } \bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{w_1+w_2+w_3+\dots+w_{24}}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{\sum_1^{24} w_n}{n}$$

$$\bar{W} = \frac{1,8}{5}$$

$$\bar{W} = 0,36$$

$$3. \text{ Nilai Temperatur Kompresor rata-rata } \bar{Q} =$$

$$\frac{\sum_1^{24} w_n}{n} = \frac{Q_1+Q_2+Q_3+\dots+Q_{24}}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{\sum_1^{24} Q_n}{n}$$

$$\bar{Q} = \frac{350}{5}$$

$$\bar{Q} = 70$$

$$4. \text{ Nilai Suhu Air rata-rata } \bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n} = \frac{t_{a1}+t_{a2}+t_{a3}+\dots+t_{24}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{\sum_1^{24} t_{an}}{n}$$

$$\bar{t}_a = \frac{73}{5}$$

$$\bar{t}_a = 14,6$$

$$5. \text{ Nilai Suhu Es rata-rata } \bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n} = \frac{t_{e1}+t_{e2}+t_{e3}+\dots+t_{e24}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{\sum_1^{24} t_{en}}{n}$$

$$\bar{t}_e = \frac{-1}{5}$$

$$\bar{t}_e = -0,2$$

$$6. \text{ Nilai Suhu Lingkungan rata-rata } \bar{t}_{Ln} = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n} = \frac{t_{l1}+t_{l2}+t_{l3}+\dots+t_{l24}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{\sum_1^{24} t_{ln}}{n}$$

$$\bar{t}_l = \frac{101}{5}$$

$$\bar{t}_{ln} = 20,2$$

$$7. \text{ Nilai Defros rata-rata } \bar{N} = \frac{\sum_1^{24} N}{n} = \frac{n_1+n_2+n_3+\dots+n_{24}}{n}$$

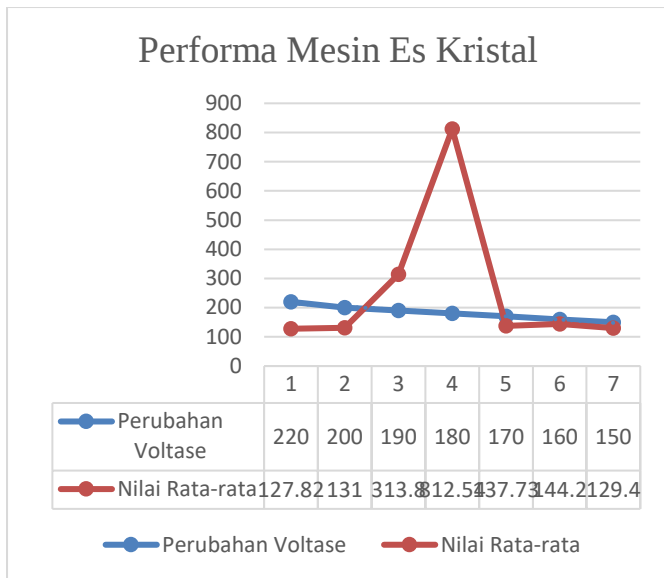
$$\bar{N} = \frac{\sum_1^{24} t_n}{n}$$

$$\bar{N} = \frac{30}{5}$$

$$\bar{N} = 6$$

Tabel 4.14 Data Hasil Voltase 150 Total

Data	$\bar{T}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}$	$\bar{t}_a$	$\bar{t}_e$	$\bar{t}_{Ln}$	$\bar{N}$
1	18,2	0,6	70	14,6	- 0,2	20,2	6
Σ							129,4



Grafik 4.6 Hasil Performa Mesin Es Kristal
Kapasitas 50 Kg/12 Jam

BEBAN DAYA MESIN ES KRISTAL TOTAL

Maka beban daya mesin es kristal yang diterima oleh mesin pendingin selama pengoperasian adalah 1.796,49 kW. Menurut Arismunandar (2019) bahwa 1 kg refrigerasi = 0,5 BTU/jam, maka kebutuhan refrigerasi :

$$Q_{total} = 1.796,49 \text{ kW} = 898,245 \text{ BTU/jam}$$

$$TR = \frac{1}{0,5} \times Q_{total}$$

$$= \frac{1}{0,5} \times 898,245 \text{ BTU/jam}$$

$$= 1.784,49 \text{ kg refrigerasi}$$

Sehingga besarnya beban daya mesin es kristal yang dibutuhkan mesin refrigerator selama pengoperasian dapat dihitung dengan persamaan yang dikemukakan oleh Dossat (2018) sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{24 \text{ jam}}{x} Q_{total}$$

Dimana:

Q_p = besar kapasitas daya yang dibutuhkan

Q_{total} = beban efesiensi total

x = lama pengoperasian mesin refrigerator, 3 jam selama 1 hari

sehingga kapasitas daya yang dibutuhkan (Q_p) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{24}{(3 \times 1)} \cdot 1.784,49$$

$$= 514.275,92 \text{ kJ}$$

Menghitung Nilai Daya Sistem Pendingin Mesin Es Kristal

Untuk menghitung nilai daya sistem pendingin mesin es kristal, anda perlu mempertimbangan beberapa faktor seperti kapasitas pendinginan, suhu masukan dan keluaran, serta efesiensi sistem. Formula umum untuk menghitung daya pendingin (Q) adalah.

$$Q = \frac{m}{c} \times \Delta T$$

Dimana:

Q = Daya pendingin Watt
 M = Massa jenis air Kg/
 C = kalor jenis air J/kg.C°
 ΔT = selisih suhu antara suhu ruangan dan suhu yang diinginkan untuk es kristal C°

$$Q = \frac{0,00053}{4186} \times 2$$

$$Q = 2,532 \text{ wat}$$

DAYA KOMPRESOR

Handoko (2018) menjelaskan bahwa kompresor pada sistem refrigerasi berguna untuk menghisap bahan pendingin gas dari evaporator dengan suhu dan tekanan rendah, kemudian memampatkan gas tersebut sehingga menjadi gas dengan suhu dan tekanan tinggi, kemudian mengalirkannya ke kondensor. Dasar pemilihan jenis kompresor dapat ditinjau dari kapasitas pendinginannya, yaitu :

1. Kompresor torak (*Resiprocating compressor*), untuk kapasitas pendinginan kurang dari 300 kW.
2. Kompresor rotari (*rotary compressor*) untuk kapasitas pendinginan antara 300 – 500 kW.
3. Kompresor sentrifugal (*centrifugal compressor*), untuk kapasitas pendinginan lebih dari 500 kW.

Perancangan kali ini beban pendinginan yang terjadi adalah 2,532 kW, maka jenis kompresor yang digunakan adalah kompresor torak dan daya kompresor yang dihasilkan sebesar 0,368 kW

Daya Evaporator

Ariamunandar (2018) menjelaskan bahwa evaporator adalah penukar kalor yang memegang peranan yang paling penting dalam siklus refrigerasi, yaitu mendinginkan media sekitarnya. Berdasarkan keadaan refrigerant yang ada didalamnya, yaitu:

1. Jenis ekspansi kering

Jenis ekspansi kering cairan refrigerant yang diekspansikan melalui katup ekspansi pada waktu masuk kedalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar evaporator dalam keadaan uap kering. Keunggulan evaporator jenis ekspansi kering adalah memerlukan refrigerant dalam jumlah yang besar, dan jumlah minyak dalam pelumas yang tertinggal dalam evaporator sangat kecil.

2. Jenis setengah basah

Evaporator jenis setengah basah adalah evaporator dengan kondisi refrigerant di antara evaporator jenis ekspansi kering dan jenis basah. Dalam evaporator jenis ini, selalu terdapat refrigerant cair dalam pipa penguapannya.

3. Jenis basah

Evaporator jenis basah, sebagian besar dari evaporator terisi oleh cairan refrigerant. Proses penguapannya terjadi seperti pada ketel uap.

Pada perancangan ini digunakan evaporator berbentuk koil dengan pendingin udara berjenis ekspansi kering dan langsung, dengan data-data rancangan sebagai berikut :

- a. Kapasitas pendinginan :
2,2087 kW
- b. Fluida didalam pipa :
 - Jenis fluida :
refrigerant R-22
 - Temperatur penguapan fluida : -
3°C
- c. Fluida di luar pipa :
 - Jenis fluida :
udara
 - Temperatur udara :
35°C
 - Temperature udara ruang pendingin : -
2 °C
- d. Pemilihan bahan dan ukuran pipa :
 - Bahan pipa :
tembaga
 - Dimensi luar (DL) :
0,00953 m
 - Diameter dalam (DD) :
0,00775 m
 - Tebal :
0,00178 m
- e. Susunan pipa yang direncanakan

- Susunan pipa :
segaris
- Jumlah pipa :
10, jumlah cetakan 100 buah, tiap baris terdapat 10 cetakan
- Jarak sumbu pipa mendatar (Sp) :
0,02859 m
- Jarak sumbu pipa vertical (Sn) :
0,02859 m

Untuk merancang sebuah evaporator harus mengetahui parameter-parameternya terlebih dahulu, parameter tersebut akan dijelaskan dibawah ini:

1. Koefisiensi perpindahan panas rata-rata pada sisi udara (h_f)
Koefisiensi perpindahan panas rata-rata pada sisi udara dapat dicari dengan persamaan 4.14 yang dikemukakan oleh Holman (2018).

$$h_f = \frac{N_u \cdot k}{DL}$$

(4.14)

Dimana :

h_f = koefisiensi perpindahan panas rata-rata pada sisi udara
($W/m^2 \cdot K$)

N_u = bilangan Nusselt

k = konduktifitas termal ($W/m \cdot K$)

DL = diameter luar pipa (m)

Sifat-sifat udara diketahui sebagai berikut :

- Temperatur udara masuk kondensor :
35 °C
- Temperatur udara ruang pendingin :
-2 °C
- Temperatur rata-rata (T_f)

$$T_f = \frac{35 + (-2)}{2}$$

$$= \frac{32}{2}$$

$$= 16.5 \text{ °C} = 289,5 \text{ K}$$

sifat-sifat udara pada temperatur 310,5 K menurut Holman (2019) adalah sebagai berikut :

- Massa jenis (ρ) : 0,9913kg/m³

- Viskositas (μ) : $1,7943 \cdot 10^{-5}$ kg/m.s
- Konduktifitas termal (k) : $0,0254$ (W/m.K)
- Bilangan prandtl (Pr): $0,7109$

a. Bilangan Reynold

Bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan 4.15 yang dikemukakan oleh Holman (2019)

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot DL}{\mu}$$

(4.15)

Dimana:

Re = bilangan Reynold

ρ = massa jenis

V = kecepatan udara 2 m/s
(Arismunandar, 2018)

sehingga bilangan Reynold dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\rho \cdot V \cdot DL}{\mu} \\ &= \frac{0,9913 \cdot 2 \cdot 0,00953}{1,7943 \cdot 10^{-5}} \\ &= 1053,011 \end{aligned}$$

b. Bilangan Nusselt

Bilangan Nusselt dapat dicari dengan persamaan 4.16 yang dikemukakan oleh Holman (2019)

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

(4.16)

Dimana :

Nu = bilangan Nusselt

Re = bilangan Reynold

C, n = konstanta

Pr = bilangan Prandtl

Konstanta C dan n digunakan dari tabel 4.7 dimana :

$$\frac{Sp}{d} = \frac{0,02859}{0,00953} = 3 \text{ dan } \frac{Sn}{d} = \frac{0,02859}{0,00953} = 3$$

Dari tabel 4.7 diperoleh konstanta C sebesar 0,317 dan n sebesar 0,608, sehingga bilangan Nusselt dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Nu = C \cdot Re^n \cdot Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$\begin{aligned} &= 0,317 \cdot (1053,011)^{0,608} \cdot (0,7109)^{\frac{1}{3}} \\ &= 19,467 \end{aligned}$$

Sehingga koefisiensi perpindahan panas rata-rata pada sisi udara dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} h_f &= \frac{Nu \cdot k}{DL} \\ &= \frac{19,467 \cdot 0,0254}{0,00953} \\ &= 51,885 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

2. Koeisiensi perpindahan panas rata-rata sisi refrigerant (h_i)

Koefisien perpindahan panas rata-rata sisi refrigerant dapat dicari dengan persamaan 4.17 yang dikemukakan oleh Stocker (2018)

$$h_i = 0,023 \left[\frac{k}{DD} \right] \left[\frac{V \cdot DD \cdot \rho}{\mu} \right]^{0,8} \left[\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right]^{0,4}$$

(4.17)

Dimana :

k = konduktifitas termal (W/m.K)

DD = diameter dalam pipa (m)

V = kecepatan refrigerant melalui pipa (m/s)

μ = viskositas cair (Pa.s)

ρ = massa jenis (kg/m³)

C_p = panas spesifik (kJ/kg.K)

Sifat-sifat refrigerant pada temperature -1°C menurut Stocker(2018) dan Dossat (1980) adalah sebagai berikut :

- Massa jenis (ρ) : $1280,17$ kg/m³
- Viskositas (μ) : $0,000363$ Pa.s
- Konduktifitas termal (k) : $0,0505$ (W/m.K)
- Panas spesifik C_p : $0,99575$ (kJ/kg.K)

Kecepatan refrigerant melalui pipa (V) dapat dicari dengan persamaan 4.18

$$V = \frac{V_v}{\frac{\pi \cdot DD^2}{4}}$$

(4.18)

Dimana:

V_v = laju aliran volume, m/s

$$V_v = \frac{\text{laju aliran refrigerant}}{\rho}$$

$$= \frac{0,0098}{1280,17}$$

$$= 7,655 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

DD = diameter dalam pipa, 0,00775 m

Maka:

$$V = \frac{V_v}{\frac{\pi}{4} \cdot DD^2}$$

$$= \frac{7,655 \cdot 10^{-6}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,00775^2}$$

$$= 0,1622 \text{ m/s}$$

Sehingga koefisiensi perpindahan panas rata-rata sisi refrigerant dapat dihitung dengan persamaan :

$$h_i = 0,023 \left[\frac{k}{DD} \right] \left[\frac{V \cdot DD \cdot \rho}{\mu} \right]^{0,8} \left[\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right]^{0,4}$$

$$= 0,023 \left[\frac{0,0505}{0,00775} \right] \left[\frac{0,1622 \cdot 0,00775 \cdot 1280,17}{0,000363} \right]^{0,8} \left[\frac{0,99575 \cdot 0,000363}{0,0505} \right]^{0,4}$$

$$= 17,178 (\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

3. Koefisiensi perpindahan panas total (U_o)

Koefisiensi perpindahan panas total dapat dicari dengan persamaan 4.19 yang dikemukakan oleh Stoecker (2018)

$$\frac{1}{U_o} = \frac{A_o}{h_f(A_p + \eta \cdot A_e)} + \frac{x \cdot A_o}{k \cdot Am} + \frac{A_o}{h_i A_i} \quad (4.19)$$

Dimana :

h_f = koefisiensi perpindahan panas sisi udara

h_i = koefisiensi perpindahan panas pada sisi refrigerant

x = ketebalan pipa, 0,00178 m

k = Konduktifitas termal tembaga , 386 w/m. K

A_o = luas permukaan pipa sebelah luar

A_i = luas permukaan pipa sebelah dalam

Am = luas permukaan rata-rata pipa

Untuk luas permukaan pipa sebelah luar menggunakan (A_o) persamaan 4.20:

$$A_o = \frac{\pi}{4} (d_o)^2$$

(4.20)

$$= \frac{3,14}{4} (0,00953)^2$$

$$= 7,129 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Untuk luas permukaan pipa sebelah dalam menggunakan (A_i) persamaan 4.21 :

$$A_i = \frac{\pi}{4} (d_i)^2$$

(4.21)

$$= \frac{3,14}{4} (0,00775)^2$$

$$= 4,715 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Untuk luas permukaan pipa rata-rata menggunakan (Am) persamaan 4.22 :

$$A_m = \frac{A_o + A_i}{2}$$

(4.22)

$$= \frac{7,129 \cdot 10^{-5} + 4,715 \cdot 10^{-5}}{2}$$

$$= 5,92215 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

Luas permukaan sisi udara untuk evaporator, terdiri dari atas dua bagian, yaitu permukaan utama (A_p) dan permukaan tambahan (A_e). Permukaan utama (A_p) adalah permukaan pipa diantara sirip-sirip, dan permukaan tambahan (A_e) adalah cetakan-cetakan. Karena permukaan utama berada pada suhu dasar, maka keefektifan cetakannya 1,0. Sedangkan pada permukaan tambahan keefektifan cetakannya kurang dari 1,0 (Stocker, 2018). Perancangan ini mengambil nilai A_e adalah 0,9 Sehingga dari persamaan 4.19 didapat :

$$\begin{aligned}\frac{1}{U_o} &= \frac{A_o}{h_f(A_p + \eta \cdot A_e)} + \frac{x \cdot A_o}{k \cdot Am} + \frac{A_o}{h_i A_i} \\ &= \frac{7,129 \cdot 10^{-5}}{51,885(1 + 0,99 \cdot 0,9)} \\ &\quad + \frac{0,00178 \cdot 7,129 \cdot 10^{-5}}{386 \cdot 5,92215 \cdot 10^{-5}} \\ &\quad + \frac{7,129 \cdot 10^{-5}}{17,178 \cdot 4,715 \cdot 10^{-5}} \\ &= 0,0880\end{aligned}$$

$$U_o = \frac{1}{0,0880} = 11,36 (W/m^2 \cdot K)$$

4. Beda temperatur rata-rata logaritma (LMTD)

Beda temperatur rata-rata logaritma untuk evaporator dapat dicari dengan persamaan 4.23 yang dikemukakan oleh Stoecker (2018) :

$$LMTD = \frac{[(T_c - (T_i)) - (T_c - (T_o))]}{\ln \frac{(T_c - (T_i))}{(T_c - (T_o))}} \quad (4.23)$$

Dimana :

T_o = temperatur udara yang direncanakan, -2 °C

T_i = temperatur penguapan, -3 °C

T_c = temperatur udara masuk, 35 °C

Sehingga :

$$\begin{aligned}LMTD &= \frac{[(35 - (-3)) - (35 - (-1))]}{\ln \frac{(35 - (-3))}{(35 - (-1))}} \\ &= 37,49 \text{ °C}\end{aligned}$$

5. Luas bidang kontak perpindahan panas pada evaporator (A)

Luas bidang kontak perpindahan panas pada evaporator dapat dicari dengan persamaan 4.24 yang dikemukakan oleh Stoecker (2018)

$$A = \frac{Q_{evaporator}}{U_o \cdot LMTD} \quad (4.24)$$

Dimana:

$Q_{evaporator}$ = laju perpindahan panas pada evaporator

$$Q_{evaporator} = V \cdot W_{evaporator}$$

Dimana :

V = laju aliran refrigerant

$W_{evaporator}$ = kerja evaporator

$$\begin{aligned}W_{kondensor} &= h_1 - h_4 \\ &= 404,994 - 256,396 \\ &= 148,598 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}Q_{evaporator} &= V \cdot W_{evaporator} \\ &= 0,0098 \cdot 148,598 \\ &= 1,4562 \text{ kW} \\ &= 1456,2 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}A &= \frac{Q_{evaporator}}{U_o \cdot LMTD} \\ &= \frac{1456,2}{11,36 \cdot 37,49} \\ &= 3,4192 \text{ m}\end{aligned}$$

6. Panjang pipa Evaporator (L)

Panjang pipa evaporator dapat dicari dengan persamaan 4.25 yang dikemukakan oleh Stoecker (2018) :

$$L = \frac{A}{n \cdot \pi \cdot DL} \quad (4.25)$$

Dimana:

L = panjang pipa (m)

n = banyaknya 10 pipa

A = luas bidang kontak (m²)

DL = diameter luar pipa

Sehingga ,

$$\begin{aligned}L &= \frac{3,4192}{10 \cdot \pi \cdot 0,00953} \\ &= 1,904 \text{ m}\end{aligned}$$

BEBAN ENERGI YANG DISERAP KOMPRESOR

Jumlah energi kalor yang diserap kompresor persatuan massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$E = m (h_{\{2\}} - h_{\{1\}})$$

Dimana

E	= Energi yang diserap oleh kompresor	(kJ)
M	= Aliran massa fluida yang melewati kondensor	(kg)
$h_{\{in\}}$	= Entalpi refrigeran masuk ke kondensor	(kJ/kg)
$h_{\{out\}}$	= Entalpi refrigeran keluar dari kondensor	(kJ/kg)

$$E = m (h_{\{2\}} - h_{\{1\}})$$

$$E = -3 (1,75326 - 404,994)$$

$$E = -3 (-403,24074)$$

$$E = 1209,72 \text{ kJ/kg}$$

BEBAN ENERGI YANG DISERAP EVAPORATOR

Jumlah energi kalor yang diserap evaporator persatuan massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$Q = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

Dimana:

Q	= Energi yang diserap oleh Evaporator	(kJ)
M	= Aliran massa fluida yang melewati kondensor	(kg)
$h_{\{in\}}$	= Entalpi refrigeran masuk ke kondensor	(kJ/kg)
$h_{\{out\}}$	= Entalpi refrigeran keluar dari kondensor	(kJ/kg)

$$Q = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

$$Q = -3 (256,396 - 1,18730)$$

$$Q = -3 (255,2087)$$

$$Q = -765,6261 \text{ kJ/kg}$$

BEBAN ENERGI YANG DISERAP KONDENSOR

Jumlah energi kalor yang diserap kondensor persatuan massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$Q = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

Dimana:

Q	= Energi yang diserap oleh kondensor	(kJ)
M	= Aliran massa fluida yang melewati kondensor	(kg)
$h_{\{in\}}$	= Entalpi refrigeran masuk ke kondensor	(kJ/kg)
$h_{\{out\}}$	= Entalpi refrigeran keluar dari kondensor	(kJ/kg)

$$Q = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

$$Q = 75 (460,0 - 1,993)$$

$$Q = 75 (458,007)$$

$$Q = 34350,525 \text{ kJ/kg}$$

BEBAN ENERGI YANG DISERAP KATUP EKSPANSI

Jumlah energi kalor yang diserap katup ekspansi persatuan massa refrigeran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$E = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

Dimana:

$$Q = m (h_{\{in\}} - h_{\{out\}})$$

$$Q = 45 (256,396 - 1,18730)$$

$$Q = 45 (255,2087)$$

$$Q = 11484,3915 \text{ kJ/kg}$$

BEBAN EFISIENSI MESIN ES KRISTAL TOTAL

Beban efisiensi total yang telah di perhitungkan di atas dapat ditabelkan seperti terlihat pada tabel 4.2

Table 4.11: Beban Efisiensi Mesin Es Kristal total

N o	Beban Efisiensi	Refri grant	Jumlah beban (kW)
1	Jumlah Energi Yang Diserap Kompresor	R-22	1209,72
2	Jumlah Energi Yang Diserap Evaporator	R-22	-765,6261
3	Jumlah Energi Yang Diserap Kondensor	R-22	34350,525
4	Jumlah Energi Yang Diserap Katup Ekspansi	R-22	11484,3915
Q_{total}			46279,0104

Efisiensi kali ini perlu di tentukan faktor keamanan dari beban efisiensi sistem pendingin, adapun batas faktor keamanan adalah 5% - 10% (Dossat, 2018). Dalam perancangan sistem pendingin ini di ambil faktor keamanan sebesar 10%, sehingga :

$$Q = \frac{10}{100} \cdot 46279,0104$$

$$= 4627,90 \text{ kW}$$

Jadi beban efisiensi mesin pendingin

total :

$$Q_{total} = 4627,0104 + 4627,90$$

$$= 9254,9104 \text{ kW}$$

Maka beban efisiensi sistem pendingin yang diterima oleh mesin pendingin selama pengoperasian adalah 9254,9104 kW. Menurut Arismunandar (2019) bahwa 1 kg refrigerasi = 0,5 BTU/jam, maka kebutuhan refrigerasi :

$$Q_{total} = 9254,9104 \text{ kW} = 4627,4552$$

BTU/jam

$$TR = \frac{1}{0,5} \times Q_{total}$$

$$= \frac{1}{0,5} \times 4627,4552 \text{ BTU/jam}$$

$$= 9254,9104 \text{ kg refrigerasi}$$

Sehingga besarnya beban efisiensi yang dibutuhkan mesin refrigerator selama pengoperasian dapat dihitung dengan persamaan yang dikemukakan oleh Dossat (2018) sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{24 \text{ jam}}{x} Q_{total}$$

Dimana :

$$Q_p = \text{besar kapasitas efisiensi sistem}$$

pendingin yang dibutuhkan

$$Q_{total} = \text{beban efisiensi total}$$

x = lama pengoperasian mesin refrigerator, 12 jam selama 1 hari

sehingga kapasitas yang dibutuhkan (Q_p) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{24}{(12 \times 1)} \cdot 9254,9104$$

$$= 18.509,8208 \text{ kJ}$$

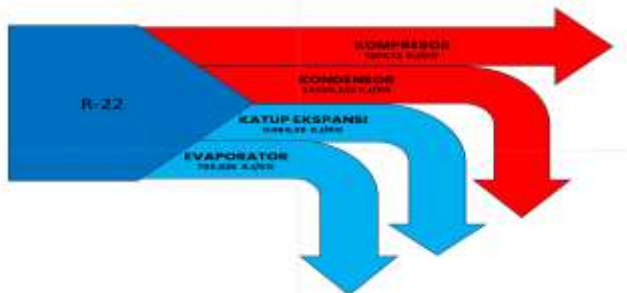
KERJA KATUP EXPANSI

Katup ekspansi digunakan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan refrigerant yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat keadaan tekanan dan temperatur rendah. Jadi, melaksanakan proses trutel atau proses ekspansi entalpi konstan. Selain itu, katup ekspansi mengatur pemasukan refrigerant sesuai dengan beban pendinginan yang harus dilayani oleh evaporator.

Jadi katup ekspansi mengatur supaya evaporator dapat selalu bekerja sehingga diperoleh efisiensi siklus refrigrasi yang maksimal

Katup ekspansi yang digunakan dalam perancangan ini adalah katup ekspansi otomatis termostatic dengan alasan

- Dapat mengatur pemasukan refrigerant sesuai kebutuhan
- Mudah dalam pengaturan
- Memiliki ketelitian tinggi



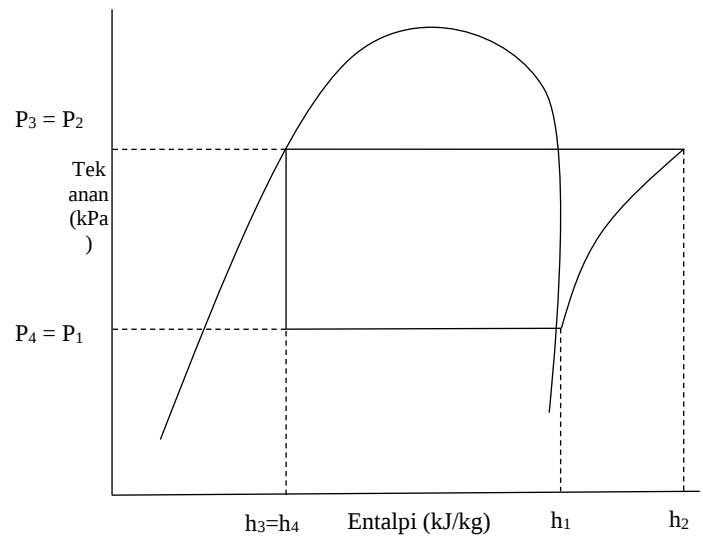
Gambar 4.1 Diagram Sankey Energi Sistem Pendingin

ANALISIS TERMODINAMIKA

Perhitungan analisa termodinamika memerlukan data-data sebagai berikut :

- Temperatur refrigeran keluar (T_{rout})
= -2°C
- Temperature refrigerant masuk (T_{rin})
= -3°C
- Temperature udara masuk (T_{uin})
= 35°C
- Temperature udara keluar (T_{uout})
= 40°C

Berdasarkan diagram tekanan – entalpi pada gambar 4.4 didapat sebagai berikut :



Gambar 4.1 : Diagram Tekanan - Entalpi

Hasil yang diperoleh dari diagram diatas adalah :

Proses 1-2 : proses terjadi pada kompresor yang berlangsung secara isentropik

- t_1 : -1°C
- h_1 : $404,994 \text{ kJ/kg}$
- s_1 : $1,75326 \text{ kJ/kg.K}$
- P_1 : $481,57 \text{ kPa}$

Proses 2-3 : proses terjadi pada kondensor yang berlangsung isobarik

- t_2 : 75°C
- h_2 : $460,0 \text{ kJ/kg}$
- s_2 : $1,933 \text{ kJ/kg.K}$
- $P_3 = P_2$: $1729,0 \text{ kPa}$

Proses 3-4 : proses berlangsung di katup ekspansi secara isentropik

- t_3 : 45°C
- h_3 : $256,396 \text{ kJ/kg}$
- s_3 : $1,18730 \text{ kJ/kg.K}$
- P_3 : $1729,0 \text{ kPa}$

Proses 4-1 : proses terjadi pada evaporator yang berlangsung secara isentropik dan isobarik

- t_4 : -3°C
- h_4 : $256,396 \text{ kJ/kg}$
- s_4 : $1,18730 \text{ kJ/kg.K}$
- $P_4 = P_1$: $481,39 \text{ kPa}$

Tabel 4.17 : hasil analisa termodinamika

Proses	$T^{\circ}\text{C}$	h (kJ/kg)		P (kPa)
--------	---------------------	----------------	--	--------------

			k (kJ/kg. K)	
1 - 2	-1	404,994	175,326	481,57
2 - 3	75	460,0	1,933	1729,0
3 - 4	45	256,396	118,730	1729,0
4 - 1	-3	256,396	118,730	481,39

Sehingga :

1. Dampak refrigerasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh stocker (2018).

$$DE = h_1 - h_4$$

Maka,

$$\begin{aligned} DE &= h_1 - h_4 \\ &= 404,996 - 256,396 \\ &= 148,6 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

2. Laju aliran refrigerant
Laju aliran refrigerant dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh stoecker (2018)

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q_p}{DE} \\ &= \frac{18.509,8208}{148,529} \\ &= 124,62 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

3. Kerja kompresor
Laju aliran refrigerant dpat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh stocker (2018)

$$Wk = h_2 - h_1$$

$$\begin{aligned} \text{Maka,} \\ Wk &= h_2 - h_1 \\ &= 460,0 - 404,994 \\ &= 55,006 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

4. Daya kompresor
Daya kompresor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh stoecker (2018)

$$P = V \cdot W_k$$

Maka,

$$\begin{aligned} P &= V \cdot W_k \\ &= 49,05 \cdot 55,006 \\ &= 2698,04 \text{ kJ} \end{aligned}$$

5. Koefisien prestasi

Koefisien prestasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh stoecker (2018)

$$COP = \frac{Q_p}{P}$$

Maka,

$$\begin{aligned} COP &= \frac{Q_p}{P} \\ &= \frac{18.509,8208}{2698,04} \\ &= 6,86 \end{aligned}$$

6. Laju aliran volume
Laju aliran volume dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4.12 yang dikemukakan oleh stoecker (2018)

$$V_v = V \cdot v$$

Maka,

$$\begin{aligned} V_v &= V \cdot v \\ V_v &= 7.286,16 \cdot 48,6157 \\ &= 354,76 \text{ L/s} \end{aligned}$$

Dimana v merupakan volume spesifik refrigerant pada sisi masuk kompresor, yaitu 48,6157 L/kg

7. Daya kompresor per kilowatt refrigerasi
Daya kompresor per kilowatt refrigerasi dapat dihitung dengan persamaan 4.13 yang di kemukakan oleh stoecker (2018)

$$\text{Daya refrigerasi} = \frac{P}{Q_p}$$

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Daya refrigerasi} &= \frac{P}{Q_p} \\ &= \frac{2698,04}{7.286,16} \\ &= 0,369 \text{ kW} \end{aligned}$$

PROSES OPTIMASI

Adapun kegiatan yang dilakukan pada proses optimasi antara lain:

1. Pengelasan pipa yang bocor dan penggantian pipa
2. Pemvakuman dan pembahasan refrigerant
3. Mengisolasi pipa
4. Pencucian alat
5. Mendekatkan pipa kapiler
6. Penambahan defrost otomatis

Setelah mesin es kristal diperbaiki, data diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4.18: Data Mesin Es Kristal Sebelum Optimasi

Menit	Tegangan	Arus Listrik	In Evap	Out Evap	P Low	P High
5	220 v	29 A	- 16,1° C	12,3° C	20 Psi	165 Psi
10	220 v	29 A	- 16,4° C	6,5° C	22 Psi	165 Psi
15	220 v	29 A	- 16,5° C	4,1° C	22 Psi	165 Psi
20	220 v	29 A	- 16,6° C	3,9° C	22 Psi	165 Psi

Tabel 4.19: Data Mesin Es Kristal Setelah Optimasi

Menit	Tegangan	Arus Listrik	In Evap	Out Evap	P Low	P High
5	220 v	35 A	- 10,5° C	4,0° C	20 Psi	210 Psi
10	220 v	35 A	- 10,3° C	2,5° C	22 Psi	208 Psi
15	220 v	35 A	- 10,4° C	2,4° C	22 Psi	206 Psi
20	220 v	35 A	- 10,4° C	2,1° C	22 Psi	207 Psi

Perhitungan menit ke 5 dengan refrigerant R-22 (sebelum optimasi). Koefisiensi prestasi persamaan dengan rumus

$$\text{Koefisiens Prestasi} = \frac{Q_{in}}{W_k} = \frac{765,6261}{300} = 2,55$$

Perhitungan menit ke 10 dengan refrigerant R-22 (data optimasi). Koefisiensi prestasi persamaan dengan rumus

$$\text{Koefisiens Prestasi} = \frac{Q_{in}}{W_k} = \frac{765,6261}{350} = 2,18$$

Perhitungan menit ke 15 dengan refrigerant R-22 (data optimasi). Koefisiensi prestasi persamaan dengan rumus

$$\text{Koefisiens Prestasi} = \frac{Q_{in}}{W_k} = \frac{765,6261}{400} = 1,91$$

Perhitungan menit ke 20 dengan refrigerant R-22 (data optimasi). Koefisiensi prestasi persamaan dengan rumus

$$\text{Koefisiens Prestasi} = \frac{Q_{in}}{W_k} = \frac{765,6261}{500} = 1,53$$

Dimana Q_{in} adalah jumlah kalor yang diserap evaporator dan W_k merupakan daya kompresor. Setelah mesin es kristal diperbaiki, dilakukan pengambilan data kurang lebih 20 menit untuk membuat es kristal jadi.

RENCANA ANGGARAN BIAYA

Tabel 4.20: Data Perkiraan Biaya Bahan

Nomer	Bahan	Biaya
1	Stenlis 304	Rp. 1.350.000;
2	Elektroda	Rp. 70.000;
3	Baut Dan Mur	Rp. 50.000;
4	Ripet	Rp. 50.000;
5	Roda	Rp. 200.000;
6	Plat VPC	Rp. 250.000;
7	Mesin AC	Rp. 2.000.000;
8	Manometer	Rp. 700.000;
9	Evaporator	Rp. 500.000;
10	Pipa Kapiler	Rp. 100.000;
11	Selenoid	Rp. 150.000;
12	Timer	Rp. 400.000;
13	Contraktor	Rp. 250.000;
14	Dinomo Motor	Rp. 300.000;
15	Akrilik	Rp. 250.000;
16	Kabel	Rp. 100.000;
17	Selang	Rp. 20.000;
18	Resine	Rp. 125.000;
19	Skotlet	Rp. 220.000;
20	Seling	Rp. 30.000;
Total		Rp. 7.150.000;

Tabel 4.19: Data Perhitungan Tenaga Kerja

Nomer	Tenaga Kerja	Biaya
1	Las Kerangka dan Pipa	Rp. 300.000;
2	Memotong Plat dan Pipa	Rp. 300.000;
Total		Rp. 600.000;

Tabel 4.20: Data Biaya Operasional

Nomer	Kegiatan	Biaya
1	Bensin	Rp. 250.000;
2	Pulsa listrik	Rp. 100.000;
Total		Rp. 350.000;

$$SUB\ total = 7.150.000 + 600.000 + 350.000$$

$$SUB\ total = Rp. 8.100.000;$$

KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis efisiensi sistem pendingin mesin es kristal menunjukkan bahwa performa sistem ini cukup baik dalam menjaga suhu mesin es kristal pada tingkat yang diinginkan.

Namun, terdapat potensi untuk peningkatan efisiensi dengan mempertimbangkan peningkatan pada desain atau komponen tertentu.

Berdasarkan data perhitungan yang telah dilakukan maka kesimpulan yang dapat ditarik dari penulisan tugas akhir ini adalah :

1. System refrigerasi yang digunakan adalah system kompresi uap (*vapour compression refrigeration system*)

2. Beban pendingin

Beban pendinginan total yang diterima oleh mesin pendingin selama pengoperasian adalah sebesar 1,375 kW. Mesin pendingin beroperasi selama 1 hari, setiap harinya daya yang dibutuhkan sebesar 1,375 kJ

3. Energi Yang Diserap Oleh Sistem Pendingin

Energi yang diserap = 1209,72 kJ/kg
kompresor

Energi yang diserap = 34350,525 kJ/kg
kondensor

Energi yang diserap = 11484,3915 kJ/kg
katup ekspansi

Energi yang diserap = -765,6261 kJ/kg
evaporator

4. Proses Optimasi

Perhitungan menit 5 koefisien = 2,55
prestasi (sebelum optimasi)

Perhitungan menit 10 koefisien = 2,18
prestasi (data optimasi)

Perhitungan menit 15 koefisien = 1,91
prestasi (data optimasi)

Perhitungan menit 20 koefisien = 1,53
prestasi (data optimasi)

Hartanto, B. (2019) Teknik Mesin Pendingin. BKPI, Tegal

Heldman, D. R. (2018). *Introduction to food engineering*. San Diego: Academic Press, Inc.

Holman, J. (2018). *Perpindahan kalor, edisi keenam*. Jakarta :Erlangga.

Stoecker, W. F, dan Jones W. J. (2019). *Refrigerasi Dan Penkondisian Udara, Edisi Kedua, Dalam Alih Bahasa Supratman Hara*. Jakarta: Erlangga.

Tabrani (2018). *Teknologi Hasil Perairan*. Universitas Islam Riau Press. Riau.

Winiati Pudji Rahayu (2019). *Teknologi Fermentasi Produk Perikanan*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Pangan dan Gizi. IPB. Bogor.

DAFTAR PUSTAKA

Arismunandar, W.(2018). *Penyegaran Udara*. Jakarta : PT. Pradya Paramata.

Dossat, R.J. (2018). *Principles of Refrigeration*, Second Edition.Canada : John Wiley and Sons, inc.

Hall, G. M. (2018). *Fish Processing Technology, Second Edition*.London :Blackie Academic and Professional.

Handbook, A (2019). *Refrigeration System and Application, SI Edition*. Atlanta : America Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers, inc.

Handoko, K (2018). *Teknik Lemari Es*. Jakarta: PT. Ictiar Baru.