

Rancang Bangun Sistem *Brine Cooling* yang Dilengkapi *Liquid Suction Heat Exchanger* untuk Pembuatan Es Balok

Qobul Rizkyana^{1,*}, Triaji Pangripto Pramudantoro², Rizki Muliawan³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ^{1,*}rizkyanaqobul@gmail.com; ²triajipangripto@gmail.com; ³rizki.muliawan@polban.ac.id

ABSTRAK

Es balok menjadi kebutuhan yang sangat penting khususnya bagi aktivitas nelayan mencari ikan sehingga membutuhkan sistem refrigerasi untuk menunjang kebutuhan es balok tersebut. Sistem *brine cooling* dengan refrigeran primer R22 dan refrigeran sekunder *propylene glycol* dirancang untuk memproses air 16 liter menjadi es balok. *Liquid suction heat exchanger* dengan panjang 50 cm digunakan pada sistem agar mendapatkan hasil yang optimal. Berdasarkan perancangan beban pendinginan yang diperoleh sebesar 1969 W sehingga dipilih *condensing unit Kulthorn* dengan tipe WJ9485EK dengan kapasitas 2100 W dan menggunakan pipa kapiler sebagai ekspansinya. Berdasarkan data hasil pengukuran sistem, COP aktual hasil pengukuran adalah sebesar 3,09 sedangkan pada perancangan adalah sebesar 2,82. COP carnot hasil pengukuran adalah sebesar 4,58 sedangkan pada perancangan adalah sebesar 4,21. Efisiensi hasil pengukuran adalah sebesar 67,46% sedangkan pada perancangan adalah sebesar 66,98%. *Chilling time* hasil pengukuran dapat dicapai selama 196 menit sedangkan pada perancangan yaitu selama 180 menit. Performansi sistem hasil pengukuran mendekati dengan data perancangan sehingga dapat dikatakan sistem bekerja dengan baik.

Kata Kunci

Es Balok, Brine cooling, Liquid suction heat exchanger, Performansi

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini perkembangan teknologi di bidang refrigerasi telah mengalami kemajuan dan pengaplikasiannya banyak diterapkan baik dalam kehidupan sehari-hari, rumah tangga dan industri-industri besar. Dalam kehidupan sehari-hari khususnya dalam aktivitas nelayan mencari ikan, es balok menjadi kebutuhan yang sangat penting untuk menjaga ikan hasil tangkapan tetap dalam keadaan segar dan tidak membusuk. Tentunya sistem refrigerasi sangat dibutuhkan sebagai sarana yang dapat menunjang kebutuhan es balok tersebut.

Sistem refrigerasi yang paling banyak digunakan yaitu sistem refrigerasi kompresi uap. Dilihat dari proses pendinginannya sistem refrigerasi kompresi uap dibagi menjadi dua macam proses pendinginan yaitu berupa proses pendinginan secara langsung (*direct cooling*) dimana evaporator secara langsung mendinginkan beban atau ruangan yang akan didinginkan dan proses pendinginan secara tidak langsung (*indirect cooling*) dimana evaporator tidak langsung mendinginkan beban atau ruangan, tetapi

mendinginkan fluida terlebih dahulu atau biasa disebut *brine* selanjutnya *brine* tersebut disirkulasikan ke ruangan atau beban yang akan didinginkan[1].

Sistem refrigerasi dengan proses pendinginan tidak langsung atau biasa disebut *Brine cooling* memiliki keuntungan diantaranya penggunaan refrigeran primer yang lebih sedikit dibandingkan dengan sistem secara langsung (*direct cooling*), lebih meratanya proses pendinginan terhadap produk, *brine* atau refrigeran sekunder yang sering digunakan seperti *propylene glycol*, *ethylene glycol*, *sodium chloride* memiliki kapasitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara[2].

Liquid Suction Heat Exchanger merupakan metode untuk meningkatkan efek refrigerasi pada evaporasi. Metode ini memanfaatkan temperatur rendah yang terdapat pada *suction line* untuk mendinginkan terlebih dahulu *liquid line* yang memiliki temperatur lebih tinggi sebelum refrigeran yang berada pada *suction line* tersebut kembali dihisap oleh kompresor sehingga temperatur refrigeran pada *liquid line* yang

berasal dari keluaran kondenser dan akan memasuki alat ekspansi menjadi lebih dingin[3].

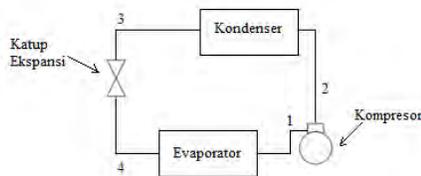
2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Brine Cooling

Brine cooling merupakan salah satu mesin dengan sistem refrigerasi kompresi uap namun pada *brine cooling* ini terdapat dua siklus refrigeran pada proses pendinginannya, yaitu siklus refrigeran primer dan siklus refrigeran sekunder. Refrigeran primer yang dipakai seperti R22, R410a, R134a, sedangkan refrigeran sekunder yang dipakai merupakan larutan kimia yang mempunyai titik beku di bawah temperatur 0°C, refrigeran sekunder yang biasa digunakan yaitu air garam, kalsium klorida, natrium klorida, etilen, propilen glikol, metanol, dan gliserin. Cara kerja dari *brine cooling* ini yaitu refrigeran primer pada evaporator akan menyerap kalor dari refrigeran sekunder, kemudian refrigeran sekunder yang telah didinginkan akan menyerap kalor dari produk atau ruangan yang akan didinginkan.

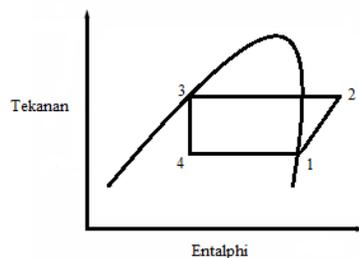
2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap memiliki empat komponen utama yaitu, kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator. Keempat komponen tersebut melakukan proses dan membentuk siklus yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap[4]

Proses keempat komponen pada sistem refrigerasi kompresi uap dapat juga digambarkan pada diagram p-h seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram P-h siklus refrigerasi kompresi uap[4]

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Kerja Kompresi

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (1)$$

Keterangan:

q_w = Kerja kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)

2. Proses Kondensasi

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (2)$$

Keterangan:

q_c = Besar kalor yang dilepas kondenser (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran masuk kondenser (kJ/kg)

h_3 = Entalpi refrigeran keluar kondenser (kJ/kg)

3. Proses Ekspansi

$$h_3 = h_4 \quad (3)$$

Keterangan:

h_3 = Entalpi refrigeran masuk ekspansi (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran keluar ekspansi (kJ/kg)

4. Proses Evaporasi

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (4)$$

Keterangan:

q_e = Besar kalor yang diserap evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

5. COP_{Carnot}

$$COP_c = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (5)$$

Keterangan:

COP_c = Coefficient of performance Carnot

T_e = Temperatur evaporasi (K)
 T_k = Temperatur kondensasi (K)

6. COP_{Aktual}

$$COP_a = \frac{q_e}{q_w} \quad (6)$$

Keterangan:

COP_a = *Coefficient of performance* aktual
 q_e = Besar kalor yang diserap evaporator (kJ/kg)
 q_w = Kerja kompresi (kJ/kg)

7. Efisiensi

$$\eta = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

η = Efisiensi refrigrasi

8. Daya Listrik

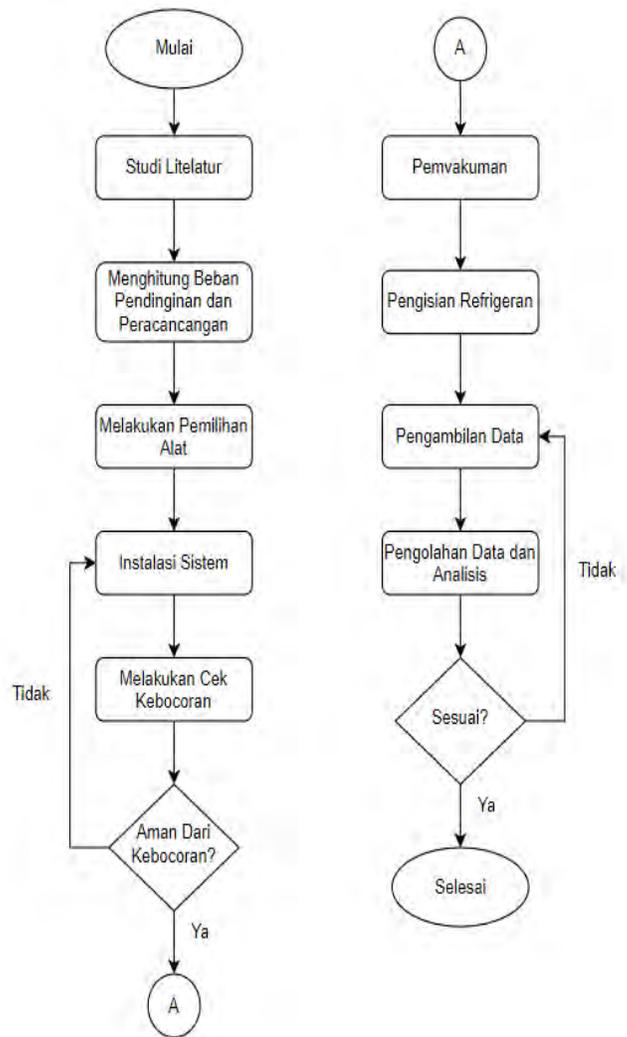
$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (8)$$

Keterangan:

P = Daya Listrik (Watt)
 V = Tegangan (Volt)
 I = Arus (Ampere)
 $\cos \varphi$ = Faktor daya

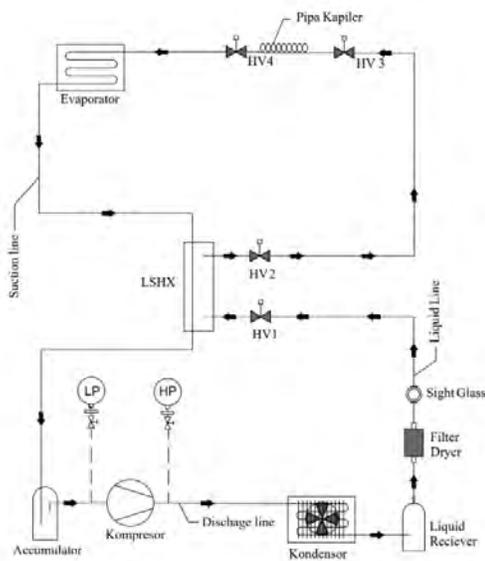
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rancang bangun dengan membuat sistem untuk di uji. Dalam melakukan perancangan sistem, diperlukan perhitungan beban pendinginan total sebagai acuan dalam pemilihan alat yang akan digunakan pada sistem. Langkah-langkah penulis untuk merancang dan membangun sistem *brine cooling* untuk pembuatan es balok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart pembuatan sistem[4]

Pada sistem *brine cooling* ini semua proses pendinginan baik pendinginan antara refrigeran primer terhadap refrigeran sekunder, dan refrigeran sekunder terhadap produk berada di dalam satu kabin.



Gambar 4. Diagram pemipaan sistem[4]

Prinsip kerja sistem pemipaan yang diterapkan pada perancangan ini sama seperti prinsip kerja sistem refrigerasi kompresi uap pada umumnya, namun terdapat perbedaan yaitu penambahan *liquid suction heat exchanger* pada sistem ini seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Konstruksi sistem[4]

Gambar 5. merupakan konstruksi sistem yang dibuat setelah melakukan perhitungan beban dan mengetahui data perancangan. Selanjutnya penulis melakukan pengujian dan pengambilan data pada sistem yang dibuat.

Pengambilan data yang dilakukan yaitu sampai sistem mengalami empat kali *cut in* dan 3 kali *cut off*. Peralatan yang diperlukan dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. *Thermometer digital*, berfungsi untuk mengukur temperatur pada titik-titik dimana sensor diletakkan.
2. *Pressure gauge*, berfungsi untuk mengukur tekanan *suction* dan tekanan *discharge* pada sistem.
3. *Power meter*, berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan *cosφ*.
4. *Stopwatch*, berfungsi sebagai penanda waktu data akan diambil.

Langkah-langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk pengambilan data.
2. Pastikan *power meter* sudah terpasang pada stop kontak *power supply*.
3. Pastikan sensor *thermometer* sudah terpasang dengan baik pada titik-titik pengukuran.
4. Pastikan alat pengukuran telah terkalibrasi dan dalam kondisi yang baik.
5. Catat data awal pada menit ke 0.
6. Nyalakan sistem dan catat pengambilan data setiap 10 menit pada saat *cut in* pertama dan pada *cut in* selanjutnya dicatat setiap 5 menit sekali.
7. Catat data yang diperoleh pada tabel pengukuran data yang telah disiapkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data perancangan dan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

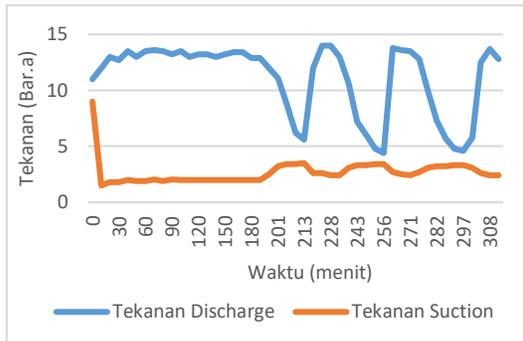
Tabel 1. Perbandingan data perancangan dan hasil pengukuran

No	Parameter	Perancangan	Hasil Pengukuran
1	Temperatur Kondensasi	40 °C	34,57 °C
2	Temperatur Evaporasi	-20 °C	-20,54 °C
4	Temperatur Brine	-15 °C	-15 °C
5	Temperatur Produk	-5 °C	-10,3 °C
6	Chilling Time	180 menit	196 menit
7	Efek Refrigerasi (q_e)	143,802 kJ/kg	160,613 kJ/kg
9	COP _{aktual}	2,82	3,09
10	COP _{carnot}	4,21	4,58

11	Efisiensi	66,98 %	67,46 %
----	-----------	---------	---------

4.1 Analisis Tekanan *Discharge* dan *Suction* Terhadap Waktu

Tekanan *discharge* dan *suction* yang didapatkan pada hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 6.



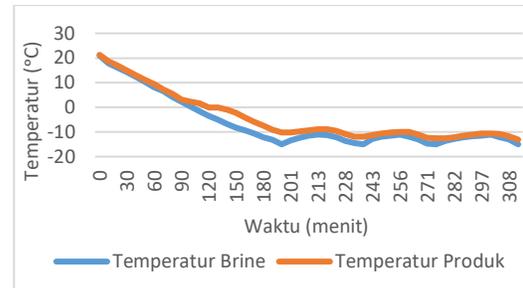
Gambar 6. Perubahan tekanan *discharge* dan *suction* terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 6. dapat dilihat bahwa tekanan *discharge* pada saat sistem belum dihidupkan adalah 11 Bar.a, kemudian setelah sistem dihidupkan terjadi perubahan tekanan menjadi lebih tinggi yakni 12 Bar.a pada menit 10. Selanjutnya peningkatan tekanan *discharge* masih terus berlanjut hingga menit 70 dengan tekanan *discharge* sebesar 13,6 Bar.a. Pada menit selanjutnya hingga menit 90 sesaat sebelum *cut off* tekanan *discharge* stabil pada range 12,9 – 13,5 Bar.a. Pada periode *cut in* selanjut tekanan *discharge* berada pada range 12-14 Bar.a.

Selanjutnya tekanan *suction* pada saat sistem belum dihidupkan adalah 9 Bar.a, kemudian setelah sistem dihidupkan terjadi perubahan yang signifikan menjadi lebih rendah yakni 1,5 Bar.a pada menit 10. Pada menit selanjutnya hingga saat sebelum sistem mengalami *cut off* tekanan *suction* stabil berada range 1,8 – 2,05 Bar.a. Pada periode *cut in* selanjutnya tekanan *suction* berada pada range 2,4 – 2,7 Bar.a

4.2 Analisis Temperatur *Brine* dan Produk Terhadap Waktu

Temperatur *brine* dan produk yang didapatkan pada hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 7.

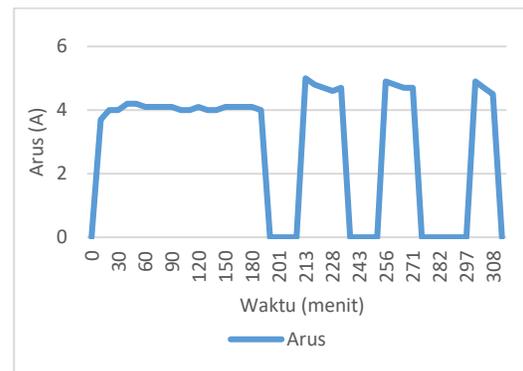


Gambar 7. Perubahan Temperatur *brine* dan produk terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 7. temperatur produk dan temperatur *brine* pada saat sebelum sistem dinyalakan masing-masing sebesar 21,3 °C dan 21 °C. Ketika sistem dihidupkan temperatur produk dan temperatur *brine* mengalami penurunan sampai titik paling rendah untuk produk berada pada temperatur -10,3 °C pada menit 196 sedangkan *brine* berada pada temperatur -15 °C sesaat sebelum *cut off*. Kemudian pada periode *cut in* selanjutnya temperatur produk berada pada range -9 – 11,8 °C dan temperatur *brine* berada pada range -11 – 14,7 °C.

4.3 Analisis Arus Terhadap Waktu

Arus yang didapatkan pada hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perubahan arus terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar IV. 5 arus pada saat sistem sebelum dihidupkan terukur sebesar 0 A karena belum ada arus yang masuk ke kompresor, kemudian setelah 10 menit sistem dinyalakan arus masuk kompresor terukur 3,7 A pada menit ke 10. Pada menit selanjutnya arus mengalami kestabilan berada pada range 4 – 4,2 A sampai terjadi *cut-off*. Kemudian pada periode *cut in* selanjutnya arus berada pada range 4,5 – 5 A.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengerjaan rancang bangun sistem *brine cooling* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Kapasitas pendinginan yang dibutuhkan sistem *brine cooling* ini adalah sebesar 1969 W. Digunakan condensing unit kulthorn tipe WJ9485EK yang menggunakan refrigeran R22 serta memiliki kapasitas pendinginan sebesar 2100 W.
2. Berdasarkan data hasil pengukuran sistem dapat diketahui bahwa:
 - a) COP_{aktual} rata-rata sistem brine cooling hasil pengukuran adalah sebesar 3,09 sedangkan COP_{aktual} pada perancangan adalah sebesar 2,82.
 - b) COP_{carnot} sistem brine cooling hasil pengukuran adalah sebesar 4,58 sedangkan COP_{carnot} pada perancangan adalah sebesar 4,21.
 - c) Efisiensi sistem brine cooling hasil pengukuran adalah sebesar 67,46% sedangkan efisiensi pada perancangan adalah sebesar 66,98%.
 - d) Chilling time sistem brine cooling hasil pengukuran dapat dicapai selama 196 menit sedangkan chilling time pada perancangan yaitu selama 180 menit.

3. Dari data perbandingan antara hasil pengukuran dan perancangan ini dapat disimpulkan bahwa performansi sistem hasil pengukuran mendekati dengan data perancangan sehingga dapat dikatakan sistem bekerja dengan baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dana sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Dossat, Principles of Refrigerations. 2018.
- [2] Melinder. Å, "Thermophysical Properties of Aqueous Solutions Used as Secondary Working Fluids," 2007.
- [3] Sumeru, K. *Subcooling* pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap. (2018).
- [4] Q. Rizkyana, "RANCANG BANGUN SISTEM BRINE COOLING YANG DILENGKAPI LIQUID SUCTION HEAT EXCHANGER UNTUK PEMBUATAN ES BALOK," 2023.
- [5] ASHRAE. ASHRAE HANDBOOKS, FUNDAMENTALS. (2009).
- [6] Holman, J. P. Heat Transfer, Tenth Edition. (2010).
- [7] Sumeru, K. *Subcooling* pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap. (2018).