

Rancang Bangun Miniatur Arena *Ice Skating* Dengan Sistem *Brine Cooling*

Kevin Putra Pamungkas^{1,*}, Windy Hermawan Mitrakusuma², Arda Rahardja Lukitobudi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ^{1,*}kevinptr13@gmail.com; ²windyhm@polban.ac.id; ³ardarl@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem refrigerasi tidak hanya digunakan untuk industri rumahan, transportasi saja melainkan digunakan untuk hiburan juga. Salah satunya industri pariwisata. Perlu diketahui di Indonesia masih jarang adanya *ice skating rink* dikarenakan musim di Indonesia yaitu tropis. Untuk itu di Indonesia sendiri *ice skating rink* dibuat menggunakan sistem refrigerasi. Temperatur air yang dibutuhkan untuk membuat *ice skating rink* -10°C. *ice skating rink* dalam perancangan ini menggunakan refrigeran sekunder yang berfungsi untuk menyerap kalor dari air, supaya terbentuk produk yang diinginkan. Dalam perancangan ini harus membuat perhitungan terlebih dahulu dan pembuatan alat sistem. Sistem ini menggunakan kompresor 3/4 PK dan menggunakan alat ekspansi pipa kapiler dengan panjang 2,2 meter, didapat hasil percobaan yang dilakukan yaitu COP aktual sebesar 3,1 sedangkan perancangan 1,59 dan COP Carnot 4,241 sedangkan perancangan 3,30. Efisiensi sistem yang didapat yaitu 73% sedangkan perancangan 48%, dan *chilling time* produk es yang didapat yaitu 6 jam 20 menit, dan itu lebih lama 20 menit dari perancangan.

Kata Kunci

Ice skating, Sistem refrigerasi, Refrigeran sekunder

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi semakin banyak digunakan terutama pada industri yang meliputi industri hiburan yaitu *ice skating rink*. [1]

Ice skating rink adalah suatu arena bermain meluncur diatas es dengan menggunakan sepatu luncur dimana terdapat sebuah pisau yang dipasangkan pada bagian bawah sepatu. *Ice skating rink* umumnya dibuat menggunakan sistem refrigerasi tetapi ada juga yang memanfaatkan rendahnya temperatur lingkungan pada saat musim dingin untuk membuat *ice skating rink*. Pada percobaan kali ini akan melakukan percobaan dengan cara merancang bangun *ice skating* dalam bentuk miniatur dan menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dengan pendinginan tidak langsung atau disebut *indirect expansion* yang dimana media penyerap kalor produk menggunakan *brine*. [2].

Sistem refrigerasi kompresi uap tidak langsung ini yang biasanya menggunakan air sebagai refrigeran sekundernya, karena untuk miniatur

arena *ice skating* ini diperlukan temperatur -10°C dan air memiliki titik beku 0°C jadi pada studi ini menggunakan larutan *brine* atau air garam dengan konsentrasi air 60% dan *brine* 40% karena *freezing point* untuk *brine* 40% dan air 60% adalah -22 °C. Salah satu larutan *brine* yaitu campuran air dengan *propylene glycol* sebagai refrigeran sekunder yang berfungsi untuk menurunkan titik beku air sehingga dapat digunakan untuk perantara membekukan air arena *ice skating*. Menggunakan metoda penerapan refrigeran sekunder pada *ice skating rink* ini atas dasar pertimbangan mengurangi biaya yang diperlukan. Untuk penyimpanan refrigerannya sendiri menggunakan tangki yang di insulasi menggunakan *armaflex* dan *polyurethane* [3].

Brine tank yaitu salah satu media penyimpanan refrigeran sekunder yang dapat mempertahankan temperatur rendah dan cocok dipadukan dengan sistem refrigerasi kompresi uap tidak langsung. Maka dari itu penulis mempunyai ide atau gagasan untuk membuat perancangan refrigerasi kompresi uap tidak langsung menggunakan *brine tank* yang di dalamnya terdapat pompa yang berfungsi untuk

mengalirkan refrigeran sekunder ke pipa yang ada di arena *ice skating* yang berfungsi untuk pembekuan air di arena *ice skating*. *Brine tank* sendiri di dalamnya terdapat pipa evaporator, pompa, dan larutan *brine* [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Brine Cooling

Brine cooling merupakan sebuah sistem pendinginan yang menggunakan *secondary refrigerant* (refrigeran sekunder) untuk media penyerap kalor untuk mendinginkan suatu produk dengan cara *indirect* (tidak langsung).[1]

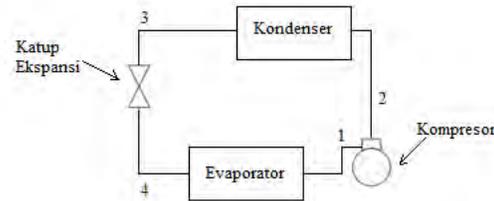
Secondary refrigerant (refrigeran sekunder) yaitu suatu fluida yang menyerap kalor dari bahan yang sedang di dinginkan evaporator. *Secondary refrigerant* mengalami perubahan temeperatur saat menyerap kalor dari suatu produk dan membuang kalor tersebut ke evaporator. Akan tetapi *brine* tidak mengalami perubahan fasa. Pada umumnya *secondary refrigerant* (refrigeran sekunder) berupa air biasa, air garam, *ethylene glycol*, *propylene glycol*, dan lain-lain. *Secondary refrigerant* yang di dinginkan oleh evaporator, kemudian di sirkulasikan menggunakan pompa untuk membawa energi kalor yang bertemperatur rendah dan menyerap kalor dari produk. Karena *brine* di sini tidak mengalami perubahan fasa, yaitu tetap cair (*liquid*) saat terjadi pertukaran kalor di evaporator antara *brine* dengan R-404a maupun saat menyerap kalor dari produk maka dibuat sirkulasi menggunakan pompa.[2]

Pada umumnya *brine cooling* sistem ini terdapat dua siklus sistem pendinginan. Sistem pertama seperti sistem pada umumnya yaitu menggunakan sistem pendinginan kompresi uap sederhana dengan menggunakan refrigeran primer. Sistem kedua yaitu sistem pendinginan yang menggunakan refrigeran sekunder (*propylene glycol*) sebagai media penyerap kalor terutama dari produk. Saat refrigeran sekunder melewati produk temperaturnya akan naik tetapi tidak mengalami perubahan fasa. Saat *brine* melewati evaporator *brine* akan membuang kalor ke refrigeran primer yang ada di evaporator. *Brine* yang disirkulasikan akan kembali lagi melewati produk sampai suatu waktu mencapai temperatur yang diinginkan.[3]

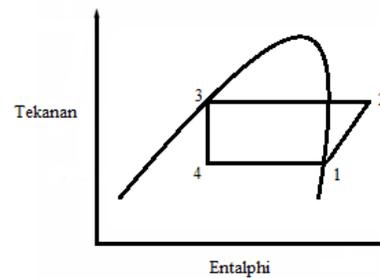
2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

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] Empat komponen utama dalam sistem refrigerasi kompresi uap dapat 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 dengan persamaan 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 refrigerasi

8. Daya Listrik

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

Keterangan:

P = Daya Listrik (Watt)

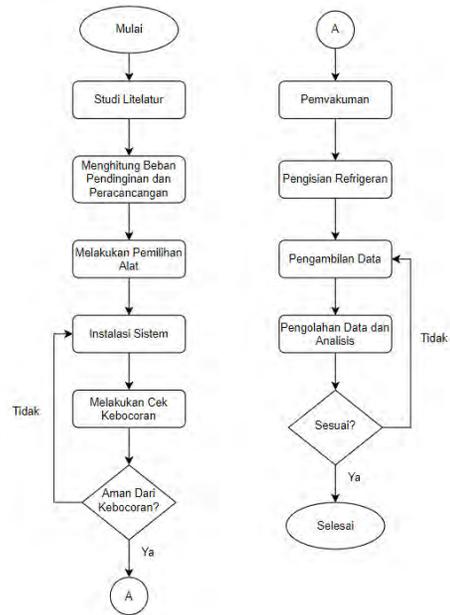
V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

$\cos \varphi$ = Faktor daya

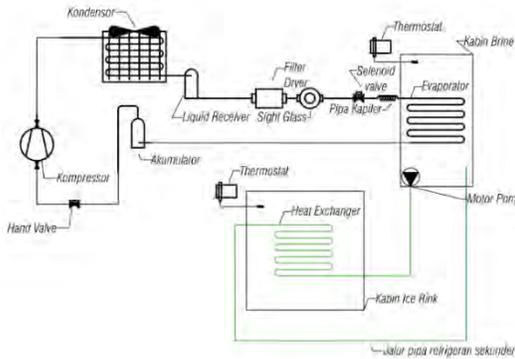
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan yaitu rancang bangun yang dimana membuat sistem untuk diuji. Untuk perancangan sistem diperlukan perhitungan beban pendinginan sebagai acuan untuk pemilihan alat yang digunakan untuk membuat sistem. Untuk Langkah-langkah rancang bangun miniatur arena *ice skating* dengan sistem *brine cooling* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart pembuatan sistem[4]

Sistem *brine cooling* ini evaporator menyerap kalor *brine* di tangki dan *brine* diisirkulasikan menggunakan pompa ke *heat exchanger* untuk menyerap kalor air pada *ice rink*.



Gambar 4. Diagram pemipaan sistem[4]

Untuk prinsip kerja pada sistem ini sama seperti prinsip kerja sistem refrigerasi kompresi uap lainnya tetapi yang membedakan disini yaitu terdapat jalur pipa refrigerant sekunder atau *heat exchanger* seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 5. Konstruksi sistem[4]

Setelah melakukan perhitungan beban dan didapatkan data perancangan. Kemudian dilakukan pengujian dan untuk konstruksi sistem bisa dilihat pada Gambar 5.

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

1. *Thermometer digital*, berfungsi untuk mengukur temperatur pada titik-titik dimana *bulb* diletakkan.
2. *Pressure gauge*, berfungsi untuk mengukur tekanan *suction* dan tekanan *discharge* pada sistem.
3. *Power wiring meter digital*, berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya.
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 wiring monitor* sudah menyala saat *box panel* sudah teraliri listrik.
3. Pastikan *bulb 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

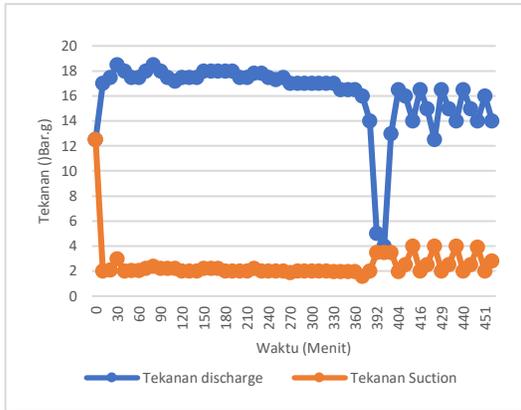
Data perancangan dan hasil perancangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan data perancangan dan hasil pengujian.

No	Parameter	Perancangan	Hasil Perancangan
1	Temperatur Kondensasi	50 °C	33,4 °C
2	Temperatur Evaporasi	-25 °C	-22 °C
4	Temperatur Brine	-15 °C	-15 °C
5	Temperatur Produk es	-10 °C	-10,9 °C
6	Chilling Time	360 menit	380 menit
7	Efek Refrigerasi (q_e)	70,777 kJ/kg	115,995 kJ/kg
9	COP _{aktual}	1,59	3,1
10	COP _{carnot}	3,30	4,241
11	Efisiensi	48,1 %	73 %

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

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

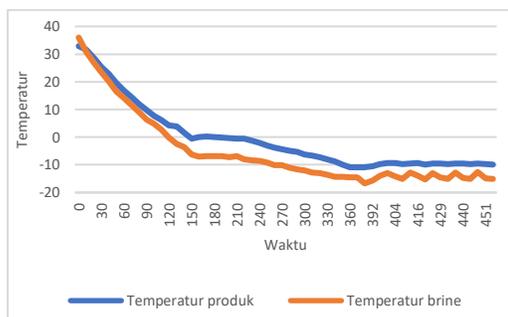


Gambar 6. Perubahan tekanan *discharge* dan *suction* terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar 6. dapat dilihat, tekanan *discharge* dan tekanan *suction* mempunyai nilai yang sama pada saat sebelum sistem dinyalakan. Namun pada saat sistem dinyalakan tekanan *discharge* mengalami kenaikan dan tekanan *suction* mengalami penurunan. Tekanan *discharge* dan *suction* konstan saat sistem sedang beroperasi hanya ada sedikit kenaikan dan sedikit penurunan. Setelah sistem *cut off* tekanan *suction* mengalami kenaikan karena beban pendinginan harus ditangani saat sistem baru menyala.

4.2 Analisis Temperatur *Brine* dan Produk Terhadap Waktu

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



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

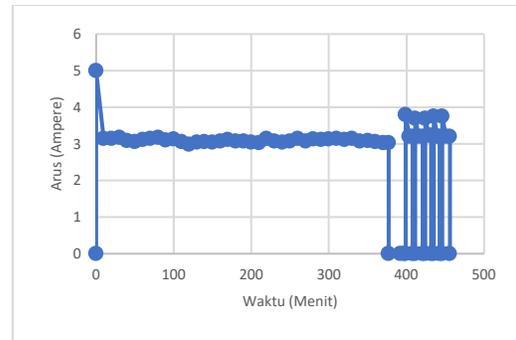
Berdasarkan grafik pada Gambar 7. dapat dilihat temperatur *brine* mengalami penurunan temperatur terus menerus seiring berjalannya waktu. Pada menit 377 sistem mengalami *cut off*

dan temperatur *brine* mengalami kenaikan dikarenakan tetap harus mendinginkan produk dan pompa terus menyala untuk mensirkulasikan *brine*.

temperatur produk es arena *ice skating* mengalami penurunan temperatur yang konstan seiring bertambahnya waktu. Pada menit 350 temperatur produk tercapai -10°C dan terjadi *cut off* pada menit 377. Pada saat *cut off*, temperatur produk mengalami kenaikan temperatur, rata-rata kenaikan temperaturnya yaitu $0,5^{\circ}\text{C}$.

4.3 Analisis Arus Terhadap Waktu

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



Gambar 8. Perubahan arus terhadap waktu

Berdasarkan grafik pada Gambar IV. 5 dapat dilihat grafik arus terhadap waktu, terlihat arus pada saat awal dinyalakan sistem mengalami kenaikan, Hal ini dikarenakan beban pendinginan yang sangat besar dan membuat tekanan *discharge* mengalami kenaikan juga dan membuat kerja kompresi menjadi lebih besar. Setelah sistem beroperasi 20 menit arus mengalami grafik konstan sampai menit 337, dari menit 337 sampai menit 451 grafik tidak konstan karena mengalami *cut in* dan *cut off* karena pada saat itu sudah berada pada posisi *steady*.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan perancangan dan melakukan pengujian terhadap sistem temperatur arena *ice skating* maka didapat kesimpulan bahwa:

1. Beban total hasil perancangan adalah 471,328 Watt
2. Sistem ini menggunakan kompresor jenis hermetic 3/4 PK, Kondenser jenis *air cooled condenser*, dan evaporator jenis *bare tube* dengan panjang 7,8 meter.

3. Saat proses instalasi dilakukan tata letak *condensing unit*, pembuatan evaporator, dan membuat arena *ice skating* dan tangki *brine* sesuai rancangan, memasang komponen sesuai tata letaknya.
4. Hasil yang didapat adalah:
 - a) Temperatur akhir produk didapat hasil pengujian $-10,9^{\circ}\text{C}$ melebihi rancangan yaitu -10°C
 - b) *Chilling time* saat pengujian 6 jam 20 menit lebih lama dari perancangan yaitu 6 jam hal itu dikarenakan temperatur awal produk dan *brine* jauh dari temperatur lingkungan.
 - c) COP aktual yang didapat pada saat pengujian yaitu 3,1 dan rancangannya yaitu 1,59
 - d) Efisiensi yang didapat hasil pengujian yaitu 73% sedangkan rancangan 48,1%

Berdasarkan hasil yang didapat dapat disimpulkan bahwa kinerja sistem cukup baik dikarenakan data hasil pengujian dan hasil perancangan tidak berbeda jauh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada pihak Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dana yang sangat berguna.

- [9] Arda Rahardja Lukitobudi, 2018. Kaji Experimental Sistem Mini Brine Cooling Untuk Pendingin Kabin Dengan Radian Cooling.
- [10] F. Kreith, 2000. *The CRC Handbook of Thermal Engineering*, CRC Press.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE, *Handbook of Ashrae*, 2006 : Chapter 35 : Ice Rinks
- [2] ASHRAE, *Handbook of Ashrae*, 2002 : Chapter 12 : Refrigeration Load.
- [3] ASHRAE, *Handbook of Ashrae*, 2009 : Chapter 4 : Heat Transfer.
- [4] ASHRAE, *Handbook of Ashrae*, 2009 : Chapter 30 : Thermophysical Properties of Refrigerant.
- [5] Dossat, Roy. J, 1979. *Principle of refrigeration*, Canada John Willey and Son.
- [6] Mitrakusuma, Windy Hermawan, 2009. Bahan Ajar Kuliah Refrigerasi.

- [7] The Engineering Toolbox, 2001. *Propylene Glycol Based Heat-Transfer Fluids*.
- [8] Graham Boyle, 2004. *Australian Refrigeration and Air Conditioning*, Tinley Park, The Good Heart-Willcox Company Inc.