Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Konsentrasi Kalsium Klorida sebagai Refrigeran Sekunder terhadap Performansi Sistem pada Mesin Es Balok

Andre Raka Seftanda[1,*], Triaji Pangripto Pramudantoro[2], Arda Rahardja Lukitobudi[3]

[1,2,3]Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : [1,]andre.raka.tptu419@polban.ac.id; [2]ardarl@yahoo.com; [3]triajipangripto@gmail.com*

ABSTRAK

Brine cooling system pada tugas akhir ini menggunakan pendinginan secara tidak langsung dengan menggunakan refrigeran sekunder untuk penyerapan kalor pada produk. Nilai penurunan titik beku pada *brine* ditentukan oleh jumlah konsentrasi zat yang ditambahkan pada air sebagai refrigeran sekunder, selain itu ketidaksesuaian penambahan konsentrasi akan berpengaruh terhadap performansi sistem tersebut, sehingga konsentrasi zat pada air sebagai refrigeran sekunder perlu diperhitungkan. Dengan menguji salah satu *brine cooling system*, yaitu mesin pembuatan es balok kapasitas 12 kg, kapasitas kompresor 3/4 pk dengan temperatur evaporasinya yaitu -30℃, menggunakan refrigeran sekunder, yaitu campuran air dan kalsium klorida ($CaCl_2$) dengan kapasitas 50 liter, refrigeran primer yang digunakan yaitu R404A dan temperatur produk -10℃, variasi konsentrasi kalsium klorida yang dipakai yaitu 27%, 29%, dan 31% dalam *weight percent* terhadap air, dari setiap variasi akan dilakukan pengambilan data untuk mengetahui dan dilakukan perhitungan terhadap performansi sistem pendinginan tersebut. Hasil dari ketiga variasi campuran *brine* tersebut berturut-turut untuk nilai COP_{aktual} yaitu 1,81, 1,87 dan 1,92 dengan efisiensi mesin 51,3%, 52,8% dan 54,4% dan untuk *chilling time* yaitu 295 menit, 245 menit dan 230 menit.

Kata Kunci
Brine Cooling, Refrigeran Sekunder, Calcium chloride, Konsentrasi, Mesin Es Balok

1. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi kompresi uap memiliki dua jenis proses pendinginan yaitu proses pendinginan secara langsung *(direct cooling)* dan secara tidak langsung *(indirect cooling)*. Mesin refrigerasi dengan refrigeran sekunder dapat mempertahankan temperatur lebih lama dibandingkan dengan mesin refrigerasi tanpa refrigeran sekunder [1]. Salah satu mesin refrigerasi yang menggunakan refrigeran sekunder yaitu mesin es balok, di mana pendinginan produknya membutuhkan temperatur yang lebih merata dan tidak mudah meningkat.

Jenis dan jumlah konsentrasi suatu senyawa yang ditambahkan ke air sebagai refrigeran sekunder akan berpengaruh terhadap temperatur titik beku yang didapat [2]. Penambahan konsentrasi suatu senyawa sebagai refrigeran sekunder ini nyatanya akan berpengaruh juga terhadap lama waktu pendinginan dan performansi sistem. Dalam percobaannya dengan membandingkan konsentrasi etilen glikol yaitu 30%, 40%, dan 50% terhadap air sebagai refrigeran sekunder menyimpulkan bahwa semakin banyak konsentrasi etilen glikol dalam air sebagai refrigeran sekunder akan memiliki nilai efisiensi sistem yang lebih rendah [3]. Selain itu, dalam percobaannya menggunakan etilen glikol sebagai refrigeran sekunder menjelaskan selain berpengaruh terhadap efisiensi, semakin banyak konsentrasi etilen glikol yang ditambahkan akan mempengaruhi juga terhadap waktu pendinginan yang didapat[4]

Besarnya perubahan efisiensi dan juga *chilling time* yang didapat, tergantung pada jenis refrigeran sekunder dan jumlah konsentrasi senyawa yang ditambahkan pada air sebagai refrigeran sekunder. Selain etilen glikol, *calcium chloride* juga bisa digunakan sebagai refrigeran

sekunder. Campuran *calcium chloride* dengan air sebagai refrigeran sekunder dapat mencegah pembekuan pada suhu serendah -55 °C [5]. Sehingga ideal sebagai refrigeran sekunder pada unit yang memiliki temperatur rancangan produk beku seperti pada mesin es balok

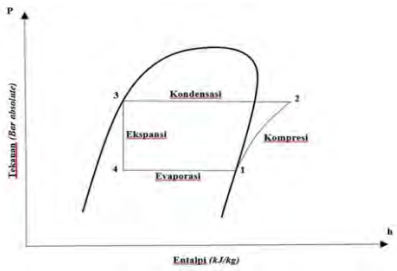
Pada penelitian ini dilakukan eksperimental pengambilan data dengan tiga jenis konsentrasi *calcium chloride* yang berbeda, yaitu 27%, 29%, dan 31% terhadap air.

Penelitian ini akan berfokus pada bagaimana pengaruh variasi penambahan *calcium chloride* pada air sebagai refrigeran sekunder terhadap performansi sistem pada mesin es balok.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Sistem refrigerasi kompresi uap memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondenser, alat ekspansi dan juga evaporator.[6]. Keempat komponen saling berhubungan dan membuat suatu sistem yaitu sistem refrigerasi kompresi uap. Pada sistem refrigerasi kompresi uap terdapat fluida pendingin atau disebut juga dengan refrigeran, digunakan sebagai media penyerapan panas dari kabin atau produk. Siklus refrigerasi komresi uap jika digambarkan pada diagram p-h ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram p-h siklus refrigerasi kompresi uap

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut [7].

1. Kerja Kompresi

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

Keterangan:

q_w = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/kg).

h_1 = Entalpi refrigran masuk kompresor (kJ/kg).

h_2 = Entalpi refrigran keluaran kompresor (kJ/kg).

2. Proses Kondensasi

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

Keterangan:

q_c = Besar kalor yang dibuang pada 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_1 = Entalpi refrigeran masuk alat ekspansi (kJ/kg).

h_4 = Entalpi refrigeran keluar alat ekspansi (kJ/kg).

4. Proses Evaporsasi

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

Keterangan:

q_e = Kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg).

h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg).

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg).

5. COP Carnot

$$COP_{Carnot} = \frac{T_e}{T_c - T_e} \quad (5)$$

Keterangan:

T_e = Temperatur Evaporasi (K).

T_C = Temperatur Kondensasi (K).

6. COP aktual

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

Keterangan:

q_e = Kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg).

q_w = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/kg).

7. Efisiensi

$$\eta = \frac{q_e}{q_w} x\ 100\% \quad (7)$$

η = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/kg).

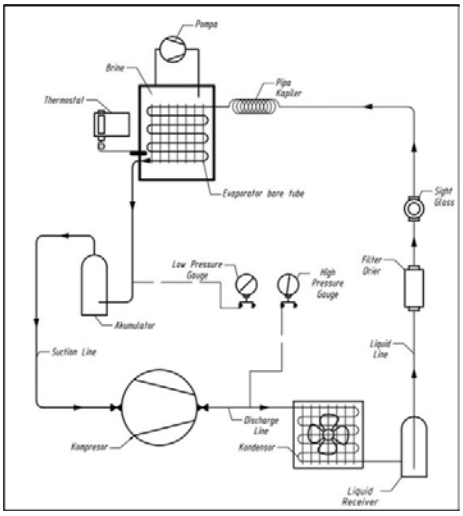
q_e = Kalor yang diserap oleh evaporator (kJ/kg).

q_w = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/kg).

2.2 Refrigeran Sekunder

Refrigeran sekunder yaitu suatu fluida yang digunakan sebagai perantara pembawa kalor produk untuk diserap oleh evaporator [8]. Sistem refrigerasi kompresi uap dengan sistem pendinginan secara tidak langsung (*Inderect Expansion System*) adalah salah satu jenis proses pendinginan di mana refrigeran sekunder (fluida cair) digunakan sebagai media transfer energi kalor dari evaporator ke ruangan atau produk yang didinginkan.

2.3 *Ice block machine*



Gambar 2 Diagram pemipaan sistem *ice block machine*

Gambar 2 menunjukan diagram pemipaan pada *ice block machine* yang digunakan. Prinsip kerja dari sistem pendinginan pada *ice block machine* ini memiliki dua siklus pendinginan. Siklus pendinginan yang pertama, yaitu sistem pendinginan kompresi uap sederhana dimana refrigeran primer digunakan sebagai fluida kerja untuk mendinginkan *brine*. Sistem pendinginan yang kedua yaitu menggunakan refrigeran sekunder untuk penyerapan kalor pada produk. Refrigeran sekunder yang telah menyerap kalor produk temperaturnya akan naik tanpa mengalami perubahan fasa dan akan melepas kalor ke refrigeran primer yang ada pada evaporator. Refrigeran sekunder yang telah melepas kalor ke evaporator akan menyerap kalor produk kembali sampai suatu waktu temperatur produk mencapai temperature yang diinginkan.

2. METODOLOGI

Gambar 3 Unit *ice block machine* yang diteliti

Gambar 3 menunjukan unit mesin es balok yang digunakan untuk penelitian yang dilakukan, memiliki kapasitas ¾ pk dengan refrigeran primer R404A, menggunakan alat ekspansi berjenis pipa kapiler dengan evaporator berjenis bare tube untuk mendinginkan *brine* dengan kapasitas 50liter dan produk 12kg per panen. spesifikasi unit ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi unit yang diteliti

Dimensi Kabin	720 x 425 x 429 mm
Condensing Unit	Tecumseh CAJ2432Z ¾ PK.
Alat Ekspansi	Pipa Kapiler
Evaporator	*Bare Tube Evaporator*
Refrigeran Primer	R404A
Refrigeran Sekunder	*Calcium chloride*
Produk	Es Balok 12kg
Temperatur Produk	-10°C

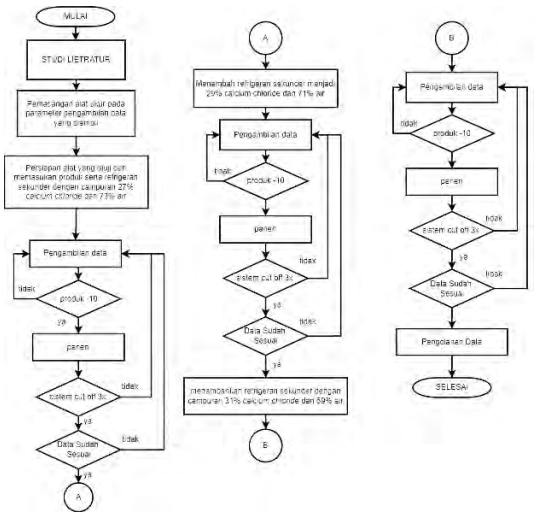
Untuk mengetahui nilai COP_{aktual} dan COP_{Carnot} dilakukan perhitungan dengan parameter yang diperlukan untuk melakukan perhitungannya, yaitu tekanan *discharge*, tekanan *suction*, temperatur *discharge*, temperatur *suction*, dan temperatur keluar kondenser, yang nantinya akan dilakukan plotting pada diagram P-h untuk mengetahui nilai entalpi pada tiap titik prosesnya sesuai dengan siklus sistem refrigerasi kompresi uap. Setelah itu, dilakukan perhitungan nilai kerja kompresi, nilai kalor yang diserap oleh kondenser dan nilai yang diserap oleh evaporator Sehingga nilai COP_{aktual}, COP_{Carnot} dan efisiensi dapat diketahui

Peralatan yang diperlukan saat proses pengambilan data adalah sebagai berikut.

1. *Thermometer digital*
2. *Pressure gauge*
3. *Clamp-on Ammeter Digital*

4. *Stopwatch*

Berikut beberapa proses dalam diagram alir untuk mencapai tujuan dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 4 *Flow chart* penelitian

Langkah-langkah pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data pertama dilakukan dengan menggunakan refrigeran sekunder campuran 27% *calcium chloride* dan 73% air pada *brine*.
2. Masukkan air sebanyak 2 liter pada masing-masing cetakan.
3. Catat data awal pengukuran.
4. Hubungkan kabel power ke sumber kemudian nyalakan MCB.
5. Nyalakan MCB 1 dan MCB 2 ke Posisi On, kemudian catat data tiap 5 menit sekali sampai mesin cut off sebanyak 3 kali.
6. Kemudian pengambilan data kedua dilakukan menggunakan refrigeran sekunder campuran 29% *calcium chloride* air dan 71% air.
7. Lakukan kembali Langkah 2 – 5.
8. Kemudian pengambilan data ketiga dilakukan menggunakan refrigeran sekunder campuran 31% *calcium chloride* air dan 69% air.

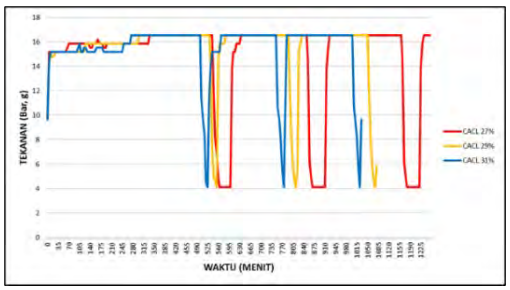
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan melakukan pengukuran pada campuran *brine* 27% *calcium chloride* dan 73% air, 29% *calcium chloride* dan 71% air serta pada 31% *calcium chloride* dan 69% air, didapatkan data hasil pengukuran yang kemudian akan dilakukan perbandingan serta analisis terhadap performansi sistem dan *chilling time* dari masing-masing konsentrasi refrigeran sekunder. Hasil dari pengukuran data yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan data pada masing-masing konsentrasi

No	Parameter	27% *Calcium chloride* dan 73% Air	29% *Calcium chloride* dan 71% Air	31% *Calcium chloride* dan 69% Air
1	Tekanan *Discharge* ($Bar_{absolute}$)	17,547	17,547	17,547
2	Tekanan *Suction* ($Bar_{absolute}$)	2,034	2,034	2,034
3	Temperatur *Discharge* (°C)	75.83	73.24	70.86
4	Temperatur *Suction* (°C)	-10,92	-12,2	-13,81
5	Temperatur *Out* Kondenser (°C)	35,49	34,07	32,69
6	Arus (A)	2,6	2,44	2,28
7	Tegangan (V)	222,29	225,74	227,34
8	*Chilling time* Produk (menit)	295	245	230
9	COP_{aktual}	1,81	1,87	1,92
10	Efisiensi	51,30%	52,80%	54,40%

4.1 Tekanan *discharge*

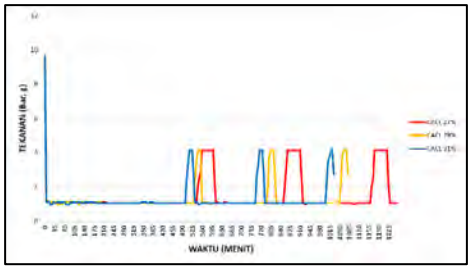


Gambar 5 Grafik tekanan *discharge* terhadap waktu

Gambar 5 menunjukkan pengaruh tekanan *discharge* dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Terlihat pada campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air memiliki tekanan *discharge* yang lebih cepat mengalami *steady* dari ketiganya. Hal ini dikarenakan pada konsentrasi tersebut mempunyai nilai *specific heat* yang paling rendah dari ketiganya yaitu 2,626 kJ/kg, sehingga memiliki jumlah kalor yang didinginkan paling sedikit dari ketiganya. Pada konsentrasi 29% *calcium chloride* dan 71% air memiliki nilai *specific heat*, yaitu 2,679 kJ/kg dan pada konsentrasi 27% *calcium chloride* dan

73% air memiliki nilai *specific heat* yaitu 2,731 kJ/kg.

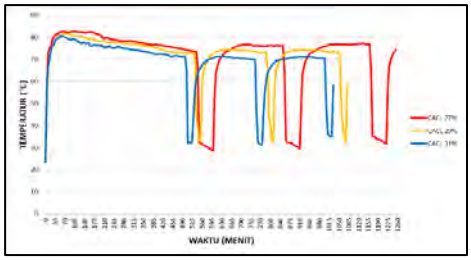
4.2 Tekanan suction



Gambar 6 Grafik tekanan *suction* terhadap waktu

Gambar 6 menunjukkan pengaruh tekanan *suction* dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Terlihat pada campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air memiliki tekanan *discharge* yang lebih cepat mengalami *steady* dari ketiganya. Penyebabnya sama seperti pada tekanan *discharge* yaitu konsentrasi tersebut mempunyai nilai *specific heat* yang paling rendah dari ketiganya

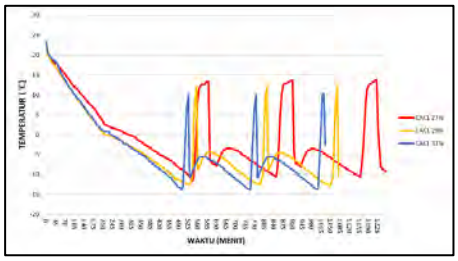
4.3 Temperatur *Discharge*



Gambar 7 Grafik temperatur *discharge* terhadap waktu

Gambar 7 menunjukkan pengaruh tekanan *discharge* dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Terlihat pada campuran dengan konsentrasi 27%, 29%, dan 31% *calcium chloride* terhadap air memiliki temperatur *discharge* rata-rata beturut-turut, yaitu 75,83℃, 73,24℃, dan 70,86℃. Perbedaan nilai ini disebabkan karena nilai kerja kompresi pada campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air lebih rendah dari dua konsentrasi yang lain.

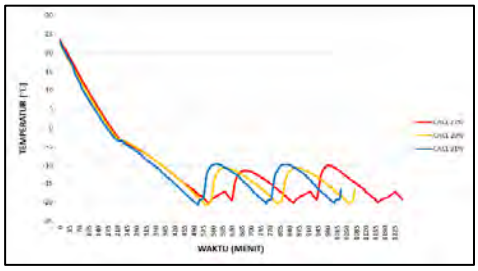
4.4 Temperatur *Suction*



Gambar 8 Grafik temperatur *suction* terhadap waktu

Gambar 8 menunjukkan perbedaam temperatur *suction* dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Pada ketiga konsentrasi memiliki capaian suhu yang berbeda, untuk campuran 27%, 29% dan 31% *calcium chloride* terhadap air memiliki capaian suhu berturut-turut yaitu -10,93℃. -12,2℃, dan -13,81℃. Perbedaan ini disebabkan karena masing-masing campuran memiliki nilai *specific heat* yang berbeda. Pada campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air memiliki nilai *specific heat* paling rendah, sehingga jika kalor yang dimiliki oleh evaporator sama untuk masing-masing konsentrasi dengan nilai *specific heat* pada refrigeran konstan, maka untuk campuran yang memiliki nilai *specific heat* paling rendah akan memiliki temperatur keluar evaporator paling besar.

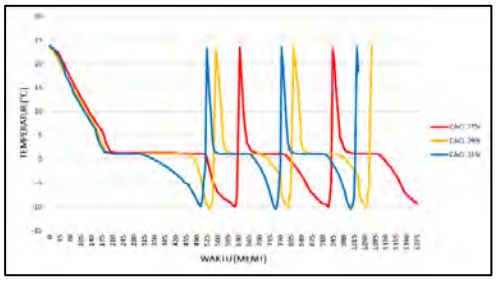
4.6 Temperatur *Brine*



Gambar 9 Grafik temperatur *brine* terhadap waktu

Gambar 9 menunjukkan temperatur *brine* dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Pada campuran konsentrasi *calcium chloride* 31% dan 69% air lebih cepat dari ketiganya. Hal ini disebabkan karena pada konsentrasi 31% *calcium chloride* dan 69% air memiliki nilai *specific heat* yang paling rendah sehingga memiliki jumlah kalor yang akan didinginkan paling sedikit dari ketiganya

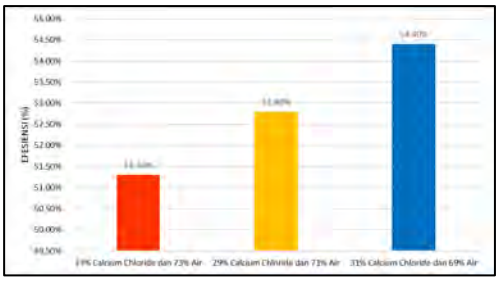
4.7 Temperatur Produk



Gambar 10 Grafik temperatur produk terhadap waktu

Gambar 10 menunjukkan temperatur produk dari ketiga jenis konsentrasi refrigeran sekunder yang diteliti. Pada masing-masing konsentrasi memiliki perbedaan lama waktu pendinginan untuk mencapai -10°C. Pada konsentrasi 27%, 29% dan 31% *calcium chloride* terhadap air, memiliki waktu pendinginan berturut-turut, yaitu 620 menit, 535 menit, dan 505 menit, pada sistem yang memiliki nilai *specific heat* paling kecil akan memiliki *chilling time* paling cepat karena memiliki jumlah kalor total yang harus didinginkan paling sedikit.

4.8 Efisiensi



Gambar 11 Perbandingan efisiensi

Gambar 11 menunjukan perbandingan efisiensi pada masing-masing konsentrasi refrigeran sekunder. Pada konsentrasi 27%, 29% dan 31% *calcium chloride* terhadap air memiliki nilai efisiensi berturut-turut, yaitu 51,3%, 52,8% dan 54,4%. Perbedaan nilai efisiensi ini disebabkan karena masing-masing konsentrasi memiliki nilai COP_{aktual} yang berbeda, semakin tinggi nilai COP_{aktual} maka akan memiliki efisiensi yang tinggi. Besarnya nilai COP_{aktual} ini dipengaruhi oleh nilai kerja kompresi yang kecil, dan nilai kerja kompresi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari data dapat disimpulkan bahwa Sistem yang menggunakan campuran 27% *calcium chloride* dan 73% air, campuran 29% *calcium chloride* dan 71% air, dan sistem yang menggunakan campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai COPaktual berturut-turut sebesar 1,81, 1,87 dan 1,92 serta memiliki nilai efisiensi berturut-turut sebesar 51,3%, 52,8% dan 54,4%. Juga memiliki *chilling time* berturut-turut selama 295 menit, 245 menit dan 230 menit. Berdasarkan hasil ini didapat bahwa performansi sistem yang menggunakan campuran 31% *calcium chloride* dan 69% air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai COPaktual yang lebih besar, nilai efisiensi yang lebih besar dan *chilling time* yang lebih cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan fasilitas dan bantuan dana kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. P. Pramudantoro, T. A. Rohmat, and Prajitno, "Kaji Eksperimental Mesin Refrigerasi Unit Kecil yang Dilengkapi Dengan Secondary Refrigerant," *IRWNS*, vol. 2, no. 1, pp. 82–90, 2011.

[2] Zafer URE Zafer M.Sc., MCIBSE, MASHRAE, M.Inst.R, "Rancang Bangun dan Karakterisasi Induktor Elektromagnet Medan Tinggi," no. November, pp. 21–23, 2003.

[3] A. Setiawan, Ahmad, and Wardika, "Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Campuran Etilen Glikol - Air Terhadap Performansi Sistem Brine Cooling," *SENTRINOV*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2020.

[4] A. Widiayastuti, "Kaji Eksperimental Performansi Mini Brine Cooling Dengan Variasi Konsentrasi Campuran Ethylene Glycol-Air Sebagai Refrigeran Sekunder," *Tugas Akhir. Bandung Politek. Negeri Bandung.*, 2019.

[5] ASHRAE, "ASHRAE Handbook 'Refrigeration'.," *Publ. by Am. Soc. Heating, Refrig. Air Cond. Eng. Inc.*, 2001.

[6] A. Putra, *Analisis Performansi Pada*

Sistem Refrigerasi Tak Langsung Akibat Perubahan Konsentrasi Refrigeran Sekunder Jenis Campuran Ethlene Glycol dan Air. 2012.

[7] R. J. Dossat, "Principle of Refrigeration and Air Conditioning Second Edition," *John Wiley Sons, Inc*, 1981.

[8] D. E. Pratiwi, *Kaji Eksperimental Kinerja Mini Brine Cooling Akibat Pengaruh Perubahan Konsentrasi Propylene Glycol Sebagai Refrigeran Sekunder untuk Penyimpanan Yogurt*. 2017.