

Kaji Eksperimental Perbandingan Performansi Antara *Calcium Chloride* Dan *Magnesium Chloride* Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Sistem *Brine Cooling*

Elwan Naoval Hapid Alfana^{1,*}, Triaji Pangripto Pramudantoro², Arda Rahardja
Lukitobudi³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : ^{1,*}elwan.naoval.tptu419@polban.ac.id; ²triajipangripto@gmail.com; ³ardarl@yahoo.com

ABSTRAK

Sistem *brine cooling* merupakan sistem refrigerasi yang menggunakan sistem pendinginan tidak langsung, proses pendinginannya menggunakan refrigeran primer dan refrigeran sekunder. Refrigeran sekunder merupakan fluida kerja yang tidak berubah fasa saat ditarik kalornya. Perbedaan jenis refrigeran sekunder akan berdampak pada performansi sistem refrigerasi, sehingga perlu dikaji mengenai perbedaan penggunaan jenis refrigeran sekunder. Dengan menguji salah satu aplikasi sistem *brine cooling* yaitu mesin pembuat es balok berkapasitas 6 kg, kapasitas kompresor 3/4 PK dengan temperatur evaporasi -30°C, refrigeran primer yang digunakan yaitu R404A dan temperatur produk es balok -10°C dan dengan kapasitas *brine* 40 liter bertemperatur -20°C kemudian menggunakan dua jenis refrigeran sekunder yang berbeda, yaitu campuran 77% air dan 23% *calcium chloride* dan 77% air dan 23% *magnesium chloride*, akan dilakukan pengambilan data untuk mengetahui performansi sistem pendinginan tersebut. Hasil pengujian untuk masing-masing sistem yang menggunakan campuran 77% air dan 23% *calcium chloride* dan 77% air dan 23% *magnesium chloride* menunjukkan nilai COP_{aktual} berturut-turut yaitu 1,99 dan 1,96 dengan efisiensi mesin berturut-turut yaitu 56,06% dan 55,19% serta *chilling time* berturut-turut adalah 135 menit dan 155 menit.

Kata Kunci

Brine Cooling, Calcium Chloride, Magnesium chloride

1. PENDAHULUAN

Sistem *brine cooling* menggunakan metode pendinginan tidak langsung yang menggunakan refrigeran primer dan sekunder. Terjadi dua siklus dalam sistem ini, yang pertama adalah siklus kompresi uap yang menggunakan refrigeran primer dan siklus yang kedua menggunakan refrigeran sekunder untuk menyerap kalor dari produk. Refrigeran sekunder adalah fluida yang digunakan sebagai fluida perpindahan panas yang mengubah suhu karena mendapatkan atau kehilangan energi panas tanpa berubah menjadi fasa lain [1].

Sistem *brine cooling* sudah banyak digunakan di industri-industri. Salah satu aplikasi penggunaan sistem *brine cooling* adalah pada mesin es balok dimana membutuhkan perpindahan panas yang merata dan suatu *brine* yang temperaturnya tidak mudah meningkat. Pada mesin ini dibutuhkan *brine* dengan temperatur -20°C untuk

mendapatkan produk es balok dengan temperatur -10°C.

Refrigeran sekunder yang dapat digunakan sebagai *brine* adalah *ethylene glycol, propylene glycol, ethyl alcohol, calcium chloride, magnesium chloride, sodium chloride* dan lain-lain [2]. Perbandingan kinerja antara *propylene glycol* dan *sodium chloride* sebagai refrigeran sekunder pada mini *brine cooling* untuk penyimpanan susu mendapatkan hasil adanya perbedaan nilai *chilling time*, efisiensi dan konsumsi energi dari penggunaan refrigeran sekunder yang berbeda [3].

Perbandingan performansi antara air murni dan air propilena pada *vending machine coffee* menunjukkan perbedaan pada *chilling time*, efisiensi [4]

Sehubungan dengan hal tersebut penulis ingin mengkaji perbandingan performansi dari penggunaan refrigeran sekunder yaitu *calcium*

chloride dan *magnesium chloride*. Calcium chloride dapat mencapai mencapai temperatur -20°C tanpa pembekuan [5]. Dan *magnesium chloride* dapat juga mencapai temperatur rancangan -20°C tanpa pembekuan [6]. Kedua refrigeran sekunder ini dipilih karena masing-masing jenis refrigeran sekunder ini dapat digunakan pada mesin es balok ini, dan belum banyak penelitian yang mengkaji ini khususnya pada mesin es balok.

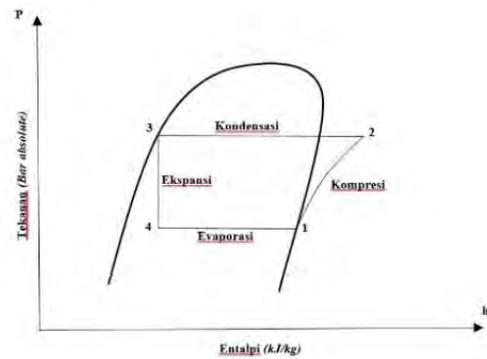
Mesin es balok ini dibuat untuk dilakukan penelitian perbandingan performansi sistem refrigeran sekunder. Digunakan campuran antara 23% *calcium chloride* dengan 77% air dan 23% *magnesium chloride* dengan 77% air.

Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah Membandingkan performansi sistem refrigerasi *brine cooling* dengan menggunakan refrigeran sekunder *calcium chloride* terhadap *magnesium chloride*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Siklus Refrigasi Kompresi Uap

Siklus ini diawali dengan kompresor yang dimasuki refrigeran berfasa uap sisi tekanan rendah (*suction*) refrigeran berfasa uap yang masuk kemudian ditekan oleh kompresor tekanan tinggi dan juga temperaturnya naik kemudian dikeluarkan di sisi yang bertekanan tinggi (*discharge*). kemudian refrigeran dialirkan ke condenser, karena terjadi perbedaan temperatur antara refrigeran dan temperatur lingkungan maka terjadi pelepasan kalor refrigeran berfasa uap ke lingkungan yang mengakibatkan perubahan fasa dari refrigeran menjadi cair dengan tekanan yang masih tinggi. Kemudian refrigeran dialirkan ke alat ekspansi guna menurunkan tekanannya.. Keluaran kapiler dimana tekanan refrigeran menjadi rendah akan memudahkan proses evaporasi di evaporator. Refrigeran kemudian masuk ke evaporator dimana disana terjadi proses penarikan kalor dari kabin atau produk. Kalor yang ditarik dari kabin atau produk mengakibatkan perubahan fasa refrigeran yang cair menjadi uap untuk kemudian selanjutnya dialirkan kembali ke kompresor dan siklus ini terus berlangsung selama kompresor masih bekerja.

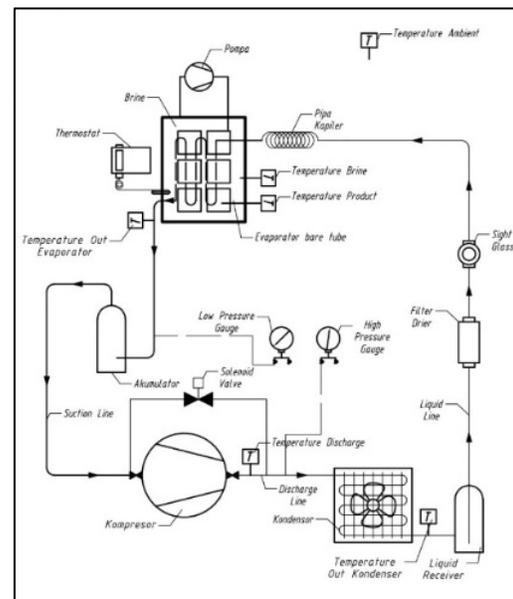


Gambar 1 Siklus kompresi uap

2.2 Refrigeran Sekunder

Refrigeran sekunder adalah fluida kerja yang bekerja sebagai media penukar kalor dari beban yang didinginkan tanpa berubah fasa. Refrigeran sekunder digunakan untuk mempertahankan suhu kabin atau produk dengan energi yang lebih efisien. Refrigeran sekunder bekerja dengan menarik kalor dari produk kemudian kalornya akan ditarik oleh refrigeran primer.

2.3 Cara Kerja Mesin Es Balok



Gambar 2 Diagram Pemipaan mesin es balok Di kompresor refrigeran primer berfasa uap akan ditekan hingga tekanannya naik sehingga temperaturnya naik pula melebihi temperatur lingkungan kemudian mengalir ke kondenser. Di kondenser terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dan lingkungan dibantu oleh fan sehingga refrigeran berubah fasa dari uap menjadi cair kemudian akan mengalir ke pipa kapiler untuk diturunkan tekanannya sehingga temperaturnya

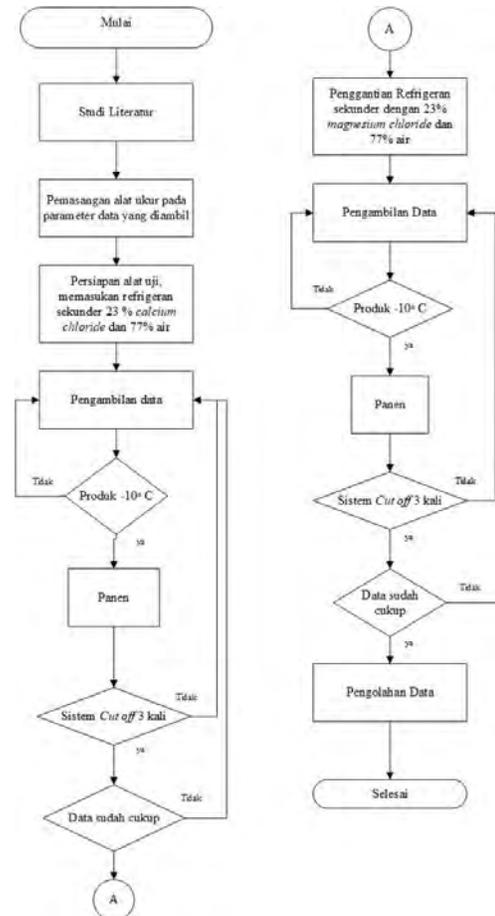
turun pula kemudian menuju evaporator di dalam kabin yang berisi refrigeran sekunder. Pertukaran kalor terjadi dimana refrigeran primer menarik kalor dari refrigeran sekunder sambil berubah fasa menjadi uap kembali yang kemudian mengalir kembali ke kompresor. Temperatur refrigeran sekunder yang sudah rendah digunakan untuk menarik kalor produk yaitu berupa air untuk nantinya diubah menjadi es balok.

3. METODOLOGI

Prosedur pengujian dan pengambilan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

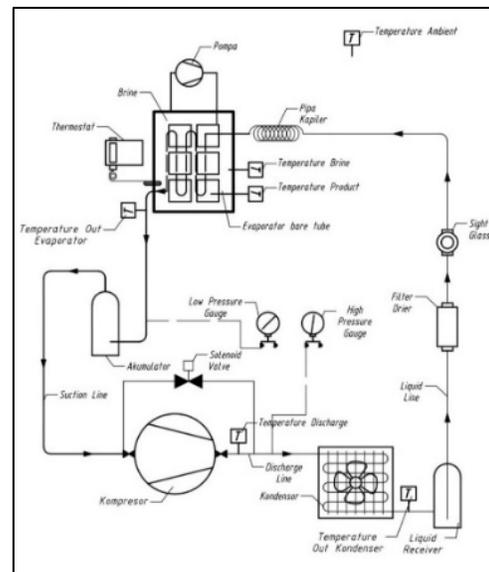
- Pengecekan kondisi alat jika ada, jika ada kendala perbaiki atau modifikasi.
- Pengambilan data pertama dilakukan dengan menggunakan refrigeran sekunder campuran 77% air dan 23% *calcium chloride* pada *brine* pada mesin es balok.
- Masukkan air sebanyak 6 liter pada cetakan produk.
- Catat data awal pengukuran.
- Hubungkan kabel *power* ke sumber listrik kemudian nyalakan MCB.
- Pindahkan MCB ke Posisi *on*, kemudian catat data pengukuran sampai produk terbentuk dan mesin *cut off* sebanyak 3 kali.
- Pencatatan data dilakukan 5 menit sekali.
- Setelah selesai, pindahkan Posisi MCB dari *on* menjadi *off*.
- Kemudian pengambilan data kedua dilakukan menggunakan refrigeran sekunder campuran 77% air dan 23% *magnesium chloride* pada mesin es balok.
- Lakukan kembali Langkah 3 hingga langkah 8.

Berikut adalah diagram alir dari uji performansi sistem pada penelitian ini.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

Pada penelitian ini dilakukan eksperimen dengan pengambilan data dengan menempatkan alat ukur pada beberapa titik



Gambar 4 Diagram titik pengukuran

Parameter yang digunakan untuk proses perhitungan yaitu tekanan discharge, tekanan suction, temperatur discharge, temperatur suction, temperatur keluar kondenser, temperatur brine, temperature produk, dan arus.

Temperatur diukur menggunakan *thermometer digital*. Tegangan listrik, arus listrik dan daya listrik diukur menggunakan *Clamp-on Ammeter digital*. Dan tekanan diukur menggunakan *pressure gauge*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan pengaruh jenis refrigerant sekunder terhadap performansi sistem. Performansi sistem mencakup efek refrigerasi, kerja kompresi, kalor yang dilepas oleh kondenser, COP, efisiensi dan *chilling time*.

Dan untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut digunakan persamaan berikut [7].

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (1)$$

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (2)$$

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (3)$$

$$COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} \quad (4)$$

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

$$\eta_{refrigerasi} = \frac{COP_a}{COP_c} \times 100 \% \quad (6)$$

Dimana:

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

q_w = Kerja kompresi yang dilakukan (kJ/kg)

q_c = kalor yang dilepas kondenser (kJ/kg)

η = Efisiensi sistem (%)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 menunjukkan data yang didapat dari hasil pengukuran saat sistem menggunakan dua jenis refrigeran sekunder yang berbeda.

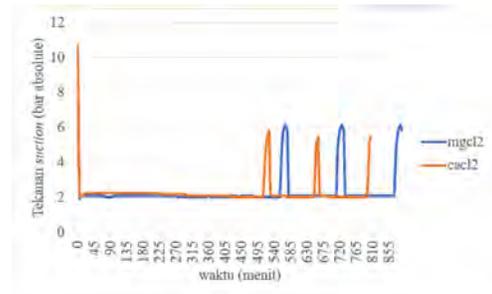
Tabel 1 Data Pengukuran

No	Parameter	CaCl2	MgCl2	Satuan
1	Tekanan Suction	2,033	2,033	Bar absolute
2	Tekanan Discharge	17,536	17,536	Bar absolute
3	Temperatur Suction	-14,66	-11,66	°C
4	Temperatur Discharge	68,79	72,05	°C
5	Temperatur Keluar kondenser	32,66	33,81	°C

4.1 Tekanan Suction

Berdasarkan grafik pada Gambar 4 ditunjukkan tekanan suction pada kedua jenis refrigeran

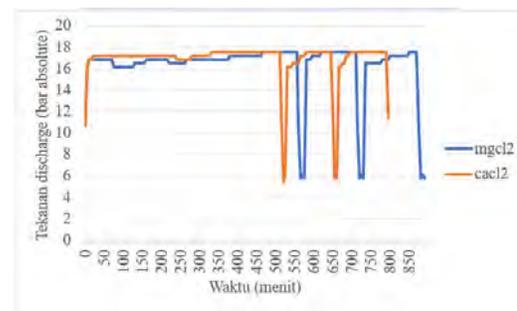
sekunder *steady* di tekanan yang sama namun waktu untuk mencapai *steady* nya berbeda.



Gambar 4 Grafik tekanan suction terhadap waktu

4.2 Tekanan Discharge

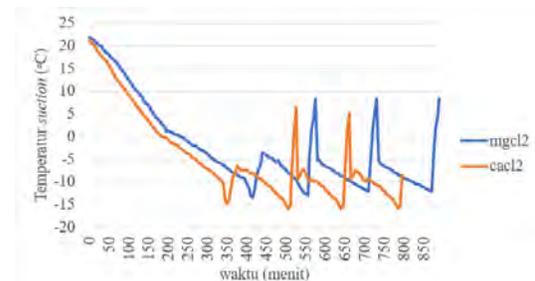
Berdasarkan grafik pada Gambar 5 ditunjukkan tekanan discharge untuk masing masing refrigeran sekunder stabil di tekanan yang sama yaitu 17,436 bar absolute namun memerlukan selang waktu yang berbeda untuk mencapai posisi stabil.



Gambar 5 Grafik tekanan discharge terhadap waktu

4.3 Temperatur suction

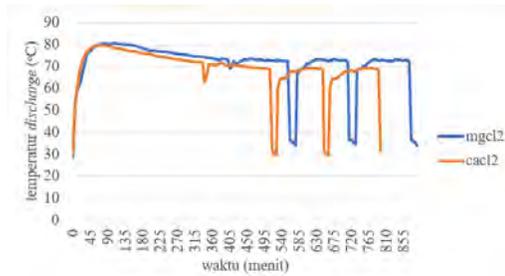
Gambar 5 menjelaskan tentang temperatur suction. Temperatur suction merupakan temperatur pada saluran hisap kompresor. Perbedaan temperatur ini dikarenakan *magnesium chloride* memiliki kapasitas kalor yang lebih besar sehingga temperatur suctionnya lebih tinggi.



Gambar 5 Grafik temperatur suction terhadap waktu

4.4 Temperatur Discharge

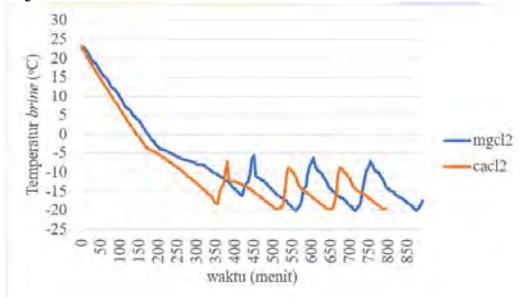
Gambar 6 menjelaskan perbandingan temperatur discharge. Temperatur discharge merupakan temperatur keluaran kompresor. Perbedaan ini dikarenakan inlet masuk kompresor pada sistem yang menggunakan calcium chloride lebih rendah juga karena memiliki beban pendinginan lebih kecil karena nilai kapasitas kalor yang kecil.



Gambar 6 Grafik temperatur discharge terhadap waktu

4.5 Temperatur Brine

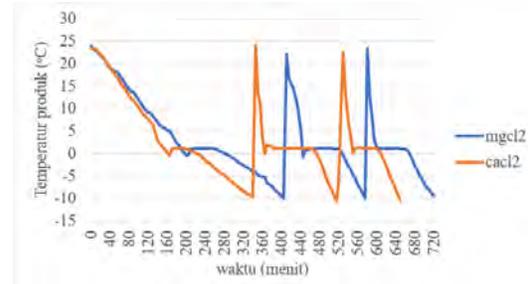
Berdasarkan grafik pada gambar 7 ditunjukkan temperatur brine cenderung sama, hanya berbeda waktu mencapai temperatur yang diinginkan saja.



Gambar 7 Grafik temperatur brine terhadap waktu

4.6 Temperatur Produk

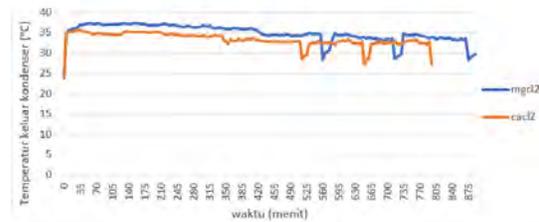
Temperatur produk yang berupa air sebanyak 6 liter akan dipanen saat menjadi es balok dengan temperatur -10°C . Temperatur produk hanya berbeda pada selang waktu proses pendinginan produk, dimana sistem yang menggunakan calcium chloride sebagai refrigeran sekunder lebih cepat dikarenakan beban pendinginannya lebih kecil. Grafik perbandingan temperature produk ditunjukkan oleh gambar 8



Gambar 8 Grafik temperatur produk terhadap waktu

4.7 Temperatur keluar kondenser

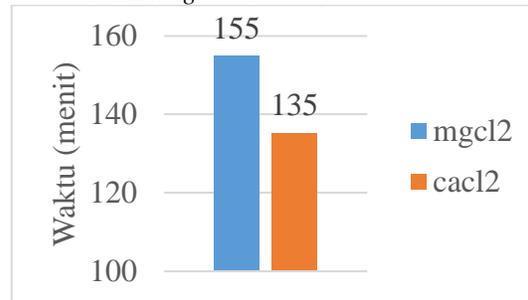
Gambar 9 menunjukkan Grafik temperatur keluar kondenser terhadap waktu. Temperatur keluar kondenser dari masing-masing refrigeran sekunder dinalisa melalui grafik temperatur keluar kondenser terhadap waktu. Temperatur keluar kondenser pada sistem yang menggunakan calcium chloride sebagai refrigeran sekunder cenderung lebih rendah dikarenakan temperatur discharge pada sistem ini lebih rendah.



Gambar 9 Grafik temperatur keluar kondenser terhadap waktu

4.8 Chilling time

Gambar 10 menunjukkan perbandingan chilling time. Dengan dua jenis refrigeran sekunder yang berbeda didapat juga chilling time yang berbeda dimana disajikan dalam bentuk grafik perbandingan chilling time antara calcium chloride dan magnesium chloride.



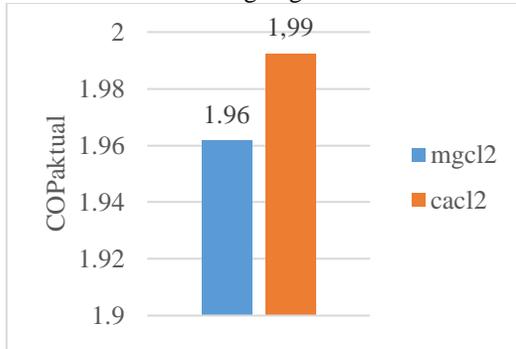
Gambar 10 Grafik chilling time

Berdasarkan Gambar 13 didapat perbedaan chilling time dari masing-masing jenis refrigeran sekunder. chilling time pada sistem yang menggunakan calcium chloride lebih sebentar

dikarenakan nilai kalor spesifik pada campuran *calcium chloride* dengan air yang lebih kecil daripada campuran *magnesium chloride* yang sehingga beban yang harus didinginkan lebih kecil.

4.9 COP Aktual

Gambar 11 menunjukan perbandingan nilai COP. COP_{aktual} dari masing-masing jenis refrigeran sekunder yaitu *calcium chloride* dan *magnesium chloride* dianalisis dengan grafik.

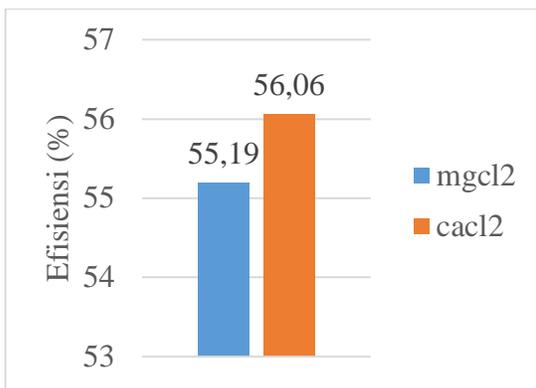


Gambar 11 Grafik COP actual

Hasil COP_{aktual} pada sistem yang menggunakan campuran *calcium chloride* dengan air sebagai refrigeran sekunder lebih tinggi karena memiliki temperatur *discharge* yang lebih rendah yang artinya kerja kompresinya (q_w) semakin kecil maka nilai COP nya lebih besar.

4.10 Efisiensi Sistem

Perbandingan efisiensi antara campuran *calcium chloride* dengan air dan *magnesium chloride* dengan air ditunjukkan dengan Gambar 14



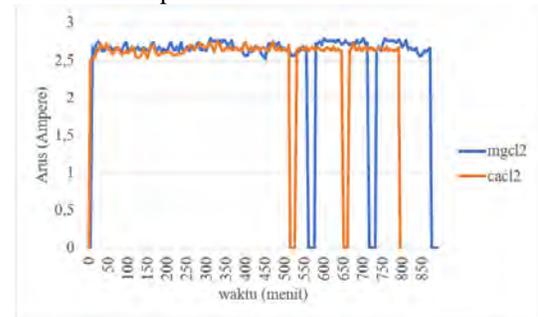
Gambar 12 Grafik efisiensi

Campuran *calcium chloride* dengan air yang digunakan sebagai refrigeran sekunder pada sistem memiliki nilai efisiensi sebesar 56.06 %. Sistem yang menggunakan *magnesium chloride* dengan air memiliki nilai efisiensi sebesar 55.19 %. Nilai COP_{aktual} campuran *calcium chloride*

dengan air sebagai refrigeran sekunder yang lebih besar menyebabkan nilai efisiensinya lebih besar pula.

4.10 Arus Listrik

Gambar 13 menunjukkan perbandingan arus listrik. Perbandingan arus listrik antara dua jenis refrigeran sekunder ditunjukkan oleh grafik arus listrik terhadap waktu.



Gambar 13 Grafik arus terhadap waktu

Pada sistem yang menggunakan campuran *calcium chloride* dengan air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai arus rata-rata sebelum *cut off* sebesar 2.65 ampere. Pada sistem yang menggunakan campuran *magnesium chloride* dengan air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai arus rata-rata sebelum *cut off* sebesar 2.67 ampere. Nilai arus pada campuran *magnesium chloride* dengan air sedikit lebih besar karena beban pendinginan yang lebih besar dan kerja kompresi yang lebih besar.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari data dapat disimpulkan bahwa : Sistem yang menggunakan campuran 23% *calcium chloride* dan 77% air dan sistem yang menggunakan campuran 23% *magnesium chloride* dan 77% air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai COP_{aktual} berturut-turut sebesar 1,99 dan 1,96 serta memiliki nilai efisiensi berturut-turut sebesar 56,06% dan 55,19%. Juga memiliki *chilling time* berturut-turut selama 135 menit dan 155 menit. Berdasarkan hasil ini didapat bahwa performansi sistem yang menggunakan campuran 23% *calcium chloride* dan 77% air sebagai refrigeran sekunder memiliki nilai COP_{aktual} yang lebih besar, nilai efisiensi yang lebih besar dan *chilling time* yang lebih cepat.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan untuk pengembangan penelitian selanjutnya

- Pemilihan refrigeran sekunder jenis yang lain
- Pemilihan konsenstrasi campuran refrigeran sekunder yang lebih bervariasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Politeknik Negeri Bandung yang telah memberi bantuan berupa fasilitas dan dana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE. *HANDBOOK REFRIGERATION SI Edition*. 2014.
- [7] Dossat, Roy J. "*Principle of Refrigeration and Air Conditioning Second Edition*", Jhon Willey and Sons, New York. 1981.
- [3] Lestari, Lola. "*Kaji Eksperimental Kinerja Propylene Glycol dan Sodium Chloride Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Mini Brine Cooling Untuk Penyimpanan Susu*". 2018.
- [5] OXY, Physical. "Calcium chloride." *Chemical Market Reporter* 262(12). 2002.
- [4] Rizki, M Firdaus. "*Analisis Perbandingan Performansi Antara Air Murni Dengan Campuran Air Propilena Glikol Sebagai Refrigeran Sekunder Pada Cofee vending machine*". 2020.
- [6] Speight, J.G. *In Lange' s Handbook of Chemistry*. 2005.
- [2] Zafer, U. 2. "*Secondary Refrigeration European Experiences, 2003 ASHRAE Winter meeting Chicago*", USA, Environmental Process Systems Limited Unit 32, Mere View Industrial Estate, Yaxley, Cambridgeshire, PE7 3HS. 2003.