

Rancang Bangun Sistem *Brine Cooling* untuk Pendinginan Susu Kedelai dan Pemanfaatan Panas Kondenser untuk Pengeringan Biji Kopi

Verino Apriliano P.U¹, Arda Rahardja Lukitobudi²

^{1,2}Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : verinoutomo@gmail.com

²E-mail : ardar1@yahoo.com

ABSTRAK

Sektor *food and beverage* merupakan salah satu bidang yang membutuhkan teknologi sistem refrigerasi untuk produk yang disajikan. Sistem *brine cooling* adalah metode sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran sekunder dalam proses pendinginannya. Dalam penelitian ini dibuat sistem *brine cooling* dengan menyimpan larutan *brine* yang terdiri dari 80% air dan 20% *propylene glycol* dalam bak yang didinginkan oleh evaporator dari sistem refrigerasi kompresi uap dengan cara merendam evaporator pada bak *brine*, kemudian susu kedelai didinginkan secara instan dengan mengalirkan susu kedelai melalui pipa *heat exchanger*. Selanjutnya, udara panas dari kondenser akan disalurkan melalui *ducting* pada *showcase* pengeringan biji kopi. Sistem ini menggunakan *condensing unit* kapasitas 1 PK dengan merk AKIRA model AC-S10CGA. Setelah dilakukan pengujian, sistem menunjukkan *chilling time* selama 93 menit untuk temperatur *brine* -6°C , produk susu dipanen saat sistem *cut off* mencapai temperatur $9,2^{\circ}\text{C}$. Selain itu, temperatur pada *showcase* yang tercapai sebesar $37,4^{\circ}\text{C}$ yang mampu menurunkan berat biji kopi sebesar 55%. $\text{COP}_{\text{aktual}}$ yang diperoleh sebesar 3,16 dan $\text{COP}_{\text{Carnot}}$ sebesar 4,18 dengan efisiensi sistem yang diperoleh yaitu sebesar 75,78%.

Kata Kunci

Food and Beverage, Brine Cooling, Biji Kopi, Susu Kedelai, COP, Efisiensi.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada bidang refrigerasi sangat berkembang pesat baik pada sistem maupun aplikasinya dan menjadi salah satu bidang yang dibutuhkan pada berbagai industri saat ini. Salah satu sektor industri saat ini yang semakin *modern* dan membutuhkan inovasi di dalamnya yaitu *food and beverage*. Tentunya sektor ini membutuhkan sistem refrigerasi dalam perkembangannya, yaitu sebagai media penyimpanan produk yang membutuhkan temperatur yang tepat dan konstan.

Pada sistem refrigerasi kompresi uap terdapat fluida yaitu refrigeran yang digunakan sebagai media penyerap kalor dari objek yang dikondisikan ke dalam sistem, kemudian dihantarkan dan membuang kalor tersebut ke lingkungan[1].

Sistem *brine cooling* merupakan sistem pendinginan yang menggunakan refrigeran sekunder sebagai media penyerap kalor untuk mendinginkan suatu produk dengan cara

pendinginan tidak langsung (*indirect cooling*). Sistem ini memiliki dua siklus sistem pendinginan. Siklus yang pertama merupakan sistem refrigerasi kompresi uap sederhana dengan menggunakan refrigeran primer dan siklus yang kedua menggunakan refrigeran sekunder yang menyerap kalor khususnya dari produk[2].

Rancangan ini memanfaatkan 2 variabel kerja dari sistem refrigerasi, yaitu pendinginan untuk produk minuman berupa susu kedelai serta pemanasan yang memanfaatkan udara panas kondenser untuk mengeringkan biji kopi sehingga mampu menciptakan efektivitas 2 buah pekerjaan secara beriringan.

Hasil yang diharapkan adalah proses pendinginan akan lebih cepat karena proses penyerapan kalor pada produk menggunakan pipa *heat exchanger* serta proses pengeringan biji kopi akan lebih optimal dibandingkan bergantung pada kondisi panas matahari. Pada sistem yang dirancang, temperatur produk

yang ingin dicapai yaitu 4°C, serta temperatur *brine* yang dirancang yaitu -6°C dan kondisi pada evaporator yaitu -14°C. Pipa *heat exchanger* produk akan bersentuhan langsung dengan air *brine* sehingga proses pendinginan akan berlangsung efektif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

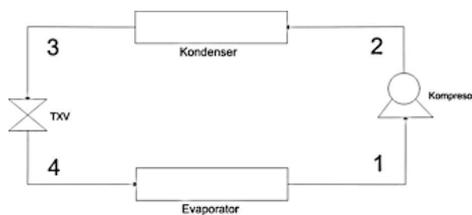
2.1 Sistem Refrigerasi *Brine Cooling*

Secara umum sistem ini menggunakan dua skema sistem pendinginan. Skema pertama yaitu menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dengan refrigeran primer. Skema kedua yaitu menggunakan refrigeran sekunder yang akan didinginkan oleh refrigeran primer pada sistem refrigerasi kompresi uap. Setelah itu untuk menyerap kalor dari objek, refrigeran sekunder akan dialirkan menggunakan pompa menuju kabin objek.

2.2 Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

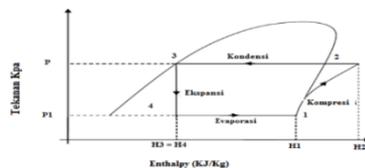
Siklus refrigerasi kompresi uap merupakan suatu sistem yang memanfaatkan aliran refrigeran sebagai media perpindahan kalor. Proses utama dari sistem kompresi uap adalah proses kompresi, proses kondensasi, proses ekspansi, dan proses evaporasi.

Siklus refrigerasi kompresi uap sederhana dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus refrigerasi kompresi uap[3]

Siklus refrigerasi di atas jika di plot pada diagram p-h adalah pada Gambar 2.



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

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Kerja Kompresi

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

Keterangan:

q_w = Kerja yang dilakukan kompresor (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran masuk kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi refrigeran keluar kompresor (kJ/kg)

2. Proses Kondensasi

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

Keterangan:

h_2 = Entalpi refrigeran masuk kondenser (kJ/kg)

h_3 = Entalpi refrigeran keluar kondenser (kJ/kg)

q_k = Besar kalor yang dilepas di kondenser persatuan massa (kJ/kg)

3. Proses Ekspansi

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

Keterangan:

h_3 = Entalpi refrigeran masuk alat ekspansi (kJ/kg)

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

4. Proses Evaporasi

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

Keterangan:

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

h_4 = Entalpi refrigeran masuk evaporator (kJ/kg)

h_1 = Entalpi refrigeran keluar evaporator (kJ/kg)

5. COP_{Carnot} .

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

Keterangan:

T_c = Temperatur kondensasi (K)

T_e = Temperatur evaporasi (K)

6. COP_{actual}

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

Keterangan:

q_w = Kerja kompresi persatuan massa (kJ/kg)

q_e = Efek refrigerasi persatuan massa (kJ/kg)

7. $COP_{Heat Pump}$

$$COP_H = \frac{q_k}{W} \quad (7)$$

Keterangan:

W = Kerja kompresi persatuan massa (kJ/kg)

q_k = Besar kalor yang dilepas di kondenser persatuan massa (kJ/kg)

8. Efisiensi Sistem Refrigerasi

$$\eta_R = \frac{COP_a}{COP_c} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

η_R = Efisiensi refrigerasi (%)

COP_c = Coefficient of performance Carnot

COP_a = Coefficient of performance aktual

9. Daya Listrik

$$P = V \times I \times \cos \phi \quad (9)$$

Keterangan:

V = Tegangan Listrik (Volt)

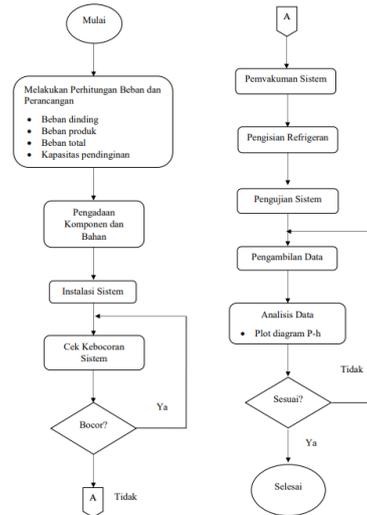
I = Faktor Listrik (Ampere)

$\cos \phi$ = Faktor Daya

P = Daya Listrik (Watt)

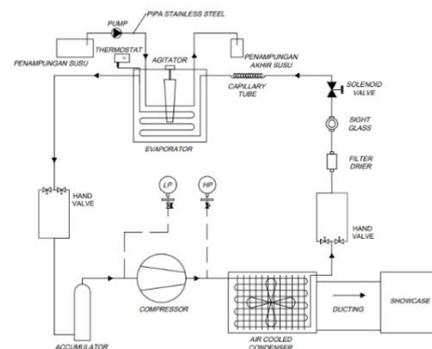
3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode rancang bangun dengan membuat unit untuk diuji. Sebelum proses pembuatan unit, penulis melakukan tahap perencanaan terlebih dahulu. Dalam tahap perencanaan memerlukan rancangan perhitungan beban pendinginan total yang nantinya akan menjadi acuan dalam pemilihan alat yang digunakan pada sistem. Langkah-langkah penulis dalam membuat sistem refrigerasi *brine cooling* untuk pendinginan susu kedelai dan pemanfaatan panas kondenser untuk pengeringan biji kopi yang dapat dilihat pada Gambar 3.



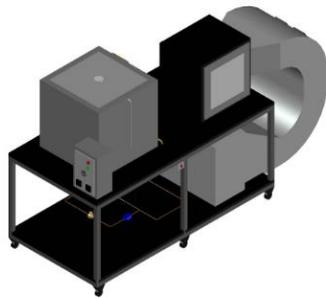
Gambar 3. Flowchart pengerjaan sistem[5]

Pada sistem ini refrigeran primer bekerja untuk mendinginkan refrigeran sekunder dengan merendamkan evaporator pada bak *brine*. Selanjutnya susu kedelai dialirkan melalui pipa *heat exchanger* yang melewati bak *brine* untuk didinginkan. Refrigeran primer yang digunakan yaitu R-22 dan refrigeran sekunder yang digunakan yaitu *propylene glycol* serta pipa *heat exchanger* yang digunakan yaitu *stainless steel 304*. Pada sisi pengeringan biji kopi, aliran udara panas akan disalurkan melalui *ducting* menuju *showcase* dengan menambahkan 2 *exhaust fan* agar proses pembuangan panas masih tetap terjadi.



Gambar 4. Diagram pemipaan sistem[5]

Gambar 4 merupakan diagram pemipaan pada sistem yang dibuat. Prinsip kerja dari sistem pemipaan yang diterapkan sama seperti prinsip kerja pada sistem refrigerasi pada umumnya, namun yang membedakan yaitu terdapat sistem pendinginan *brine cooling* pada sistem ini.



Gambar 5. Konstruksi sistem *brine cooling* untuk pendinginan susu dan pemanfaatan panas kondenser untuk pengeringan biji kopi[5]

Gambar 5 merupakan konstruksi sistem yang dibuat. Setelah mendesain unit, mengetahui data rancangan dan menghitung beban pendinginan maka tahap pengujian atau pengambilan data dapat dilakukan.

Peralatan yang diperlukan saat proses pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. *Stopwatch*
2. *Thermometer digital*
3. *Power meter*
4. *Pressure gauge*

Proses pengambilan data yang dilakukan yaitu sampai sistem mengalami tiga kali *cut in* dan dua kali *cut off*. Data arus, tegangan dan *cosφ* diukur dengan menggunakan *power meter* yang dipasang pada stop kontak *power supply*.

Langkah-langkah dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Persiapkan peralatan yang akan digunakan.
2. Pastikan mesin dalam keadaan baik dan peletakan sensor yang benar.
3. Pastikan alat kontrol dan pengukuran dalam kondisi baik atau terkalibrasi serta terpasang dengan benar.
4. Catat kondisi awal sistem (menit ke-0) yang meliputi semua parameter yang telah ditentukan.
5. Sistem dinyalakan dan proses pengambilan data dilakukan setiap 5 menit sekali.
6. Catat data pengukuran yang diperoleh pada tabel pengukuran yang telah disiapkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

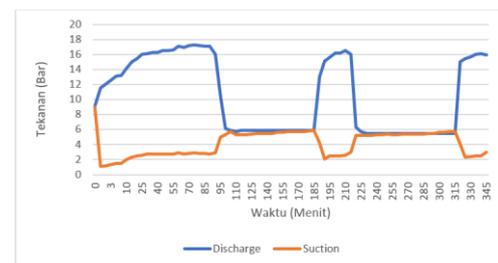
Hasil perancangan dan data pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan data perancangan dan data pengukuran

No.	Parameter	Data Perancangan	Data Pengukuran
1.	Temperatur Kondensasi	44°C	44,61°C
2.	Temperatur Evaporasi	-14°C	-16,75°C
3.	Temperatur <i>Brine</i>	-6°C	-6°C
4.	Temperatur Produk	4°C	9,1°C
5.	Temperatur <i>Showcase</i>	38°C	37,36°C
6.	Efek Refrigerasi	189,413 kJ/kg	157,59 kJ/kg
7.	COP _{aktual}	3,33	3,16
8.	COP _{Carnot}	4,17	4,18
9.	COP _H	4,33	4,16
10.	<i>Chilling time</i>	90 menit	93 menit
11.	Efisiensi Sistem Refrigerasi	79,79 %	75,78 %

4.1 Analisis Grafik Tekanan Discharge dan Suction Terhadap waktu

Dilihat pada Gambar 6 tekanan *discharge* dan *suction* mengalami kenaikan dan penurunan, dikarenakan menyesuaikan kinerja dari kompresor sebagai komponen untuk menghisap dan mengkompresi refrigeran. Tekanan *discharge* mengalami penurunan dan tekanan *suction* mengalami kenaikan ataupun sebaliknya sesuai dengan kondisi *cut in* dan *cut off* dari sistem.



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

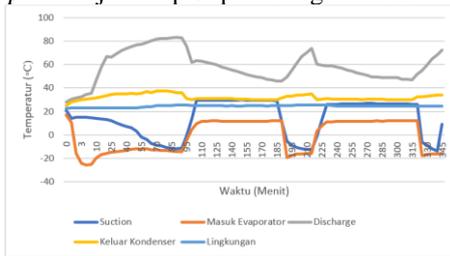
Tekanan *discharge* mengalami kenaikan sejak menit awal hingga menit ke-75, hal tersebut dikarenakan kerja kompresor cukup berat pada awal sistem berjalan untuk menangani beban awal yang cukup besar. Tekanan mengalami kondisi stabil pada menit ke-75 hingga menit ke-90 dengan tekanan rata-rata 17,13 bar.

Tekanan *suction* mengalami penurunan sejak menit pertama hingga menit ke-10 kemudian cenderung stabil dari menit ke-15 hingga menit ke-90. Hal tersebut dikarenakan penggunaan jenis alat ekspansi yaitu pipa kapiler, tekanan stabil rata-rata pada 2,7 bar.

Pada keadaan sistem *cut off*, nilai tekanan tidak kembali ke semula. Hal tersebut dikarenakan oleh temperatur refrigeran pada sistem tidak sama dengan di awal.

4.2 Analisis Temperatur Terhadap Waktu

Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa kondisi masing-masing temperatur ada yang mengalami kenaikan dan penurunan, namun ada juga yang stabil. Temperatur *suction* mengalami penurunan sejak awal sistem dinyalakan hingga menit ke-75 kemudian cenderung stabil pada menit ke-80 hingga menit ke-90. Temperatur *suction* lebih tinggi dibanding temperatur evaporasi, dengan demikian yang menyebabkan adanya *superheat* jika di plot pada diagram P-h.



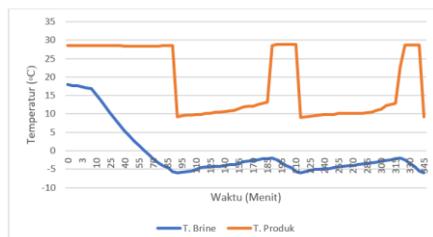
Gambar 7. Grafik temperatur terhadap waktu

Temperatur masuk evaporator mengalami penurunan sejak awal mesin dinyalakan hingga menit ke-40. Faktor hal tersebut karena sistem di awal memiliki beban pendinginan yang berat sehingga mesin belum stabil. Temperatur masuk evaporator mulai dalam keadaan stabil pada menit ke-45 hingga menit ke-90.

Temperatur *discharge* dan temperatur keluar kondenser akan saling berkaitan, dapat dilihat pada grafik jika temperatur *discharge* mengalami kenaikan atau penurunan maka temperatur kondenser pun akan sama. Temperatur lingkungan cenderung dalam keadaan stabil yaitu dengan rata-rata 24,5°C.

4.3 Analisis Temperatur Brine dan Produk terhadap Waktu

Dapat dilihat pada Gambar 8 bahwa temperatur *brine* terus mengalami penurunan sejak mesin dihidupkan hingga mesin *cut off* pada menit 93. Pada menit 93 temperatur *brine* telah mencapai temperatur *setting* pada -6°C sehingga mesin mengalami *cut off*.



Gambar 8. Grafik temperatur *brine* dan produk terhadap waktu

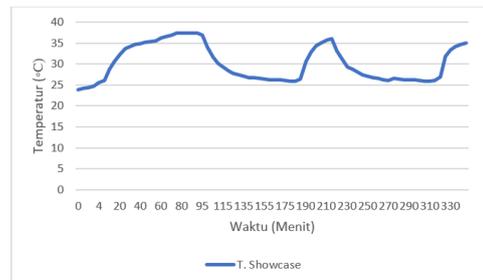
Saat sistem *cut off* produk susu dialirkan melalui pipa *heat exchanger* pada bak *brine* sehingga temperatur susu kedelai mengalami penurunan signifikan dari 28,6°C menjadi 9,2°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi penurunan temperatur produk susu kedelai sekitar 19,4°C.

Seiring sistem mengalami *cut off* awal sampai akan *cut in*, temperatur susu kedelai semakin naik namun tidak terlalu signifikan. Hal tersebut dikarenakan temperatur *brine* dan produk susu akan berbanding lurus, karena terjadi proses perpindahan kalor. Perbedaan temperatur yang timbul antara *brine* dan susu kedelai berkisar pada rentang 15,4°C hingga 19,4°C.

Saat sistem mengalami *cut in*, produk susu kedelai tidak dipanen sehingga akan kembali pada temperatur semula. Skema akan berlanjut pada saat sistem mengalami *cut off* selanjutnya.

4.4 Analisis Temperatur Showcase terhadap Waktu

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa saat sistem dinyalakan temperatur *showcase* terus mengalami kenaikan hingga mencapai temperatur puncak sebesar 37,4°C pada menit ke-75 hingga menit ke-90.



Gambar 9. Grafik temperatur *showcase* terhadap waktu

Temperatur *showcase* mengalami penurunan saat sistem *cut off*, hal tersebut dikarenakan *fan kondenser* mati sehingga tidak ada pembuangan kalor atau udara panas dari kondenser menuju *showcase*.

4.5 Analisis Kondisi Biji Kopi

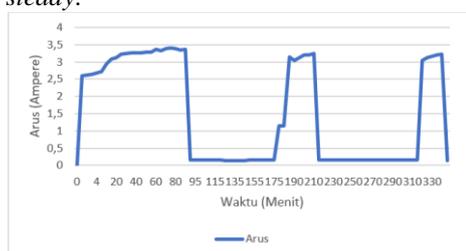
Tabel 2 menunjukkan perbandingan berat biji kopi sebelum dan sesudah mengalami proses pengeringan pada *showcase* Tabel 2. Perbandingan biji kopi

No.	Berat Sebelum	Berat Sesudah	Satuan
1.	500	245	Gram

Dapat dilihat bahwa berat biji kopi turun sebesar 255 gram atau sebesar 55% saat diberi udara panas dari rentang temperatur 23,8°C hingga 37,4°C dalam waktu 345 menit saat sistem sedang *cut off* maupun *cut in*.

4.6 Analisis Arus terhadap Waktu

Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa nilai arus mengalami kenaikan dan penurunan sejak menit awal hingga menit ke-70. Hal tersebut dikarenakan sistem belum dalam keadaan *steady*.

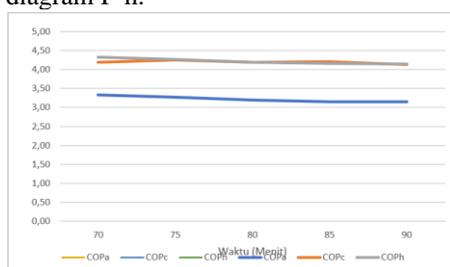


Gambar 10. Grafik arus terhadap waktu

Pada menit 75-90 arus stabil yang menunjukkan sistem sudah dalam keadaan *steady*. Saat sistem *cut off*, arus turun menjadi rata-rata 0,15 ampere.

4.7 Analisis Grafik COP terhadap Waktu

Pada Gambar 10 diambil 5 nilai COP_{aktual} , COP_{Carnot} , dan COP_H dari sistem mulai dari menit ke-70 hingga ke-90 dari hasil plot diagram P-h.

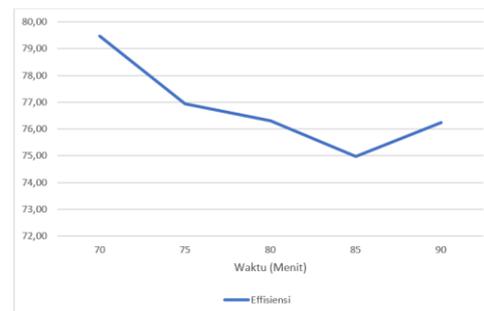


Gambar 11. Grafik COP terhadap waktu

Dapat dilihat bahwa nilai COP_{aktual} dan COP_H hingga menit ke-80 masih mengalami penurunan dan *steady* pada menit ke-85 hingga menit ke-90, sedangkan nilai COP_{Carnot} dari menit ke-70 hingga ke-90 cenderung sudah stabil. Pada keadaan *steady* nilai COP_{aktual} rata-rata sebesar 3,16 dan COP_{Carnot} rata-rata sebesar 4,18 serta COP_H rata-rata sebesar 4,16.

4.8 Analisis Efisiensi Sistem Refrigerasi Terhadap Waktu

Nilai efisiensi sistem didapatkan dari hasil perbandingan COP_{aktual} terhadap COP_{Carnot} pada temperatur kerja yang sama.



Gambar 12. Grafik efisiensi terhadap waktu

Pada Gambar 12 dapat dilihat bahwa sebelum menit ke-75 nilai efisiensi belum stabil. Pada keadaan *steady* nilai efisiensi yang diperoleh sebesar 75,78%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengerjaan rancang bangun sistem kompresi uap dengan metode *brine cooling* yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem *brine cooling* mencapai temperatur *brine* sebesar -6°C, sehingga sistem ini menghasilkan perbandingan temperatur awal dan akhir lebih besar dibandingkan sistem lain dengan temperatur akhir 9,2°C dan temperatur awal produk 28,6°C.
2. Udara panas dari kondenser dapat menghasilkan biji kopi lebih kering dibandingkan alat lain dengan penurunan sebesar 55%. Temperatur maksimal pada *showcase* sebesar 37,4°C.
3. Sistem kompresi uap mampu mencapai temperatur *brine* -6°C selama 93 menit, serta mendapat nilai COP_{aktual} sebesar 3,16, nilai COP_{Carnot} sebesar 4,18 dan nilai COP_H sebesar 4,16. Efisiensi yang diperoleh sistem yaitu sebesar 75,78%.

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] R. J. Dossat, *Principles of Refrigerations*. 2018.
- [2] C. Sunardi, T. Sutandi, A. D. D. Putra,

- and A. Kosasih, "PENGARUH REFRIGERAN R-22 DAN MC-22 TERHADAP PERFORMANSI SISTEM REFRIGERASI BRINE COOLING," 2019.
- [3] A. Caesar, "Uji Performansi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Pada Seed Storage," 2012.
- [4] Wilbert F. Stoecker, J. W. Jones, and S. Hara, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*. 2009.
- [5] V. A. P. Utomo, "RANCANG BANGUN SISTEM BRINE COOLING UNTUK PENDINGINAN SUSU KEDELAI DAN PEMANFAATAN PANAS KONDENSER UNTUK PENGERINGAN BIJI KOPI," 2022.