Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Untuk Penyimpanan Buah Alpukat

Nurshabi Juliansyah Ramdan[1], Arda Rahardja Lukitobudi[2], Triaji Pangripto Pramudantoro[3]

[1,2]Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
[1]E-mail : nurshabi.juliansyah.tptu19@polban.ac.id
[2]E-mail : ardarl@yahoo.com
[3]E-mail : triajipangripto@gmail.com

ABSTRAK

Pada penelitian ini dilakukan perancangan pembangunan sistem refrigerasi kompresi uap untuk penyimpanan buah alpukat. Biasanya sistem refrigerasi kompresi uap digunakan untuk menyiimpan berbagai macam makanan dan minuman yang contohnya yaitu lemari es. Penelitian ini dikhususkan untuk menyimpan produk buah saja yaitu buah alpukat. Kabin penyimpanan untuk sistem ini menggunakan *cool box*. Menggunakan kompresor berkapasitas 1/8 HP dan alat ekspansi berjenis pipa kapiler. Hasil yang diamati pada penelitian ini adalah perbandingan *chilling time,* dan efisiensi sistem pada data perancangan dengan data hasil penelitian. Didapatkan dari hasil penelitian ini waktu *chilling time* lebih cepat dari data perancangan sebesar 31 menit. Efisiensi sistem dari hasil penelitian lebih rendah dari data perancangan sebesar 62,04%.

Kata Kunci
Buah alpukat, cool box, pipa kapiler, lemari es

1. PENDAHULUAN

Pengaplikasian sistem refrigerasi kompresi uap biasanya untuk penyimpanan berbagai jenis makanan dan minuman agar tidak cepat rusak atau busuk. Pembusukan adalah keadaan dimana jaringan lunak tubuh mengalami penghancuran oleh proses autolisa dan aktivitas mikroorganisme [1].

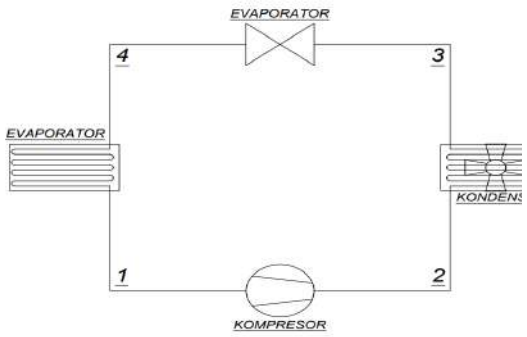
Alpukat merupakan tanaman yang dapat tumbuh subur di daerah tropis seperti Indonesia. Buah alpukat merupakan buah yang digemari banyak orang karena rasanya yang enak dan kaya antioksidan dan zat gizi seperti lemak yaitu 9,8 g/100 g daging buah [2]. Buah alpukat yang disimpan dalam mesin pendingin akan menghambat pertumbuhan mikroorganisme. Pengaruh ini terjadi karena temperatur yang terdapat pada mesin pendingin itu rendah. Pada tabel *Storage Requirements of Vegetables, Fresh Fruits, and Melons*, didapat nilai temperatur buah alpukat sebesar 13°C [5]. Pada temperatur tersebut, bual alpukat dapat bertahan hingga 5 hari. Media penyimpanan yang digunakan untuk menyimpan buah alpukat yaitu cool box.

Cool box yaitu salah satu media penyimpanan yang dapat mempertahankan temperatur rendah dari makanan atau minuman yang disimpan. Cocok untuk dipadukan dengan sistem refrigerasi kompresi uap dengan Cool box sebagai kabinnya. Maka penulis mempunyai gagasan ide untuk membuat suatu perancangan sistem refrigerasi kompresi uap dengan Cool box sebagai penyimpanan buah alpukat. Perancangan sistem ini dilakukan untuk mengetahui Chilling time dan efisiensi sistem mana yang lebih baik antara data perancangan dengan hasil alat yang dibuat.

Dari penjelasan diatas, penulis akan membuat penelitian dengan judul “Rancang Bangun Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Untuk Penyimpanan Buah Alpukat”.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem refrigerasi kompresi uap merupakan sistem refrigerasi yang menggunakan kompresor sebagai alat kompresi untuk menekan refrigeran dari evaporator (suction line) berfasa gas agar tekanannya menjadi naik dan temperaturnya tinggi. Komponen utama dalam sistem refrigerasi kompresi uap yaitu kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator. Berikut siklus sistem refrigerasi kompresi uap,



Gambar 1. Siklus sistem refrigerasi kompresi uap

Gambar 1. Merupakan siklus refrigerasi kompreso uap yang cara kerjanya yaitu kompresor melakukan proses kompresi untuk menaikan temperatur dan tekanan refrigeran sehingga berfasa uap. Setelah itu melalui kondenser melakukan proses kondensasi untuk pembuangan kalor dari refrigeran menuju lingkungan dan fasanya berubah menjadi cair dan temperatur juga menurun. Lanjut melalui alat ekspansi yang berjenis pipa kapiler. Disini terjadi proses ekspansi yaitu penurunan tekanan dari refrigeran dan fasa tetap cair. Terakhir melalui evaporator terjadi proses evaporasi untuk menyerap kalor yang ada pada kabin ataupun produk yang digunakan.

2.1 Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Kinerja sistem refrigerasi kompresi uap berupa COP *(Coefficient of Performance)*, dan efisiensi sistem. COP *(Coefficient of Performance)* adalah perbandingan efek refrigerasi dengan kerja kompresor. Efek refrigerasi adalah *enthalpy refrigerant* masuk kompresor dikurangi dengan *enthalphy refrigerant* masuk evaporator Sedangkan kerja kompresor adalah *enthalpy refrigerant* masuk kondenser dikurang dengan *enthalpy refrigerant* masuk kompresor. Terdapat dua jenis COP yaitu COP_{aktual} dan $COP_{carnot.}$. Berikut ini ada merupakan rumus untuk mencari COP_{aktua} COP_{carmot} dam efisiensi sistem[3]:

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

$$COP_{aktual} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$\eta = \frac{COPaktual}{COPcarnot} \text{ x } 100\%$$

2.2 *Cool box*

Cool box merupakan sebuah media yang dapat digunakan untuk menyimpan bahan-bahan yang memerlukan kondisi dingin. Manfaat Cool box yang telah diterapkan selama ini yaitu makanan, minuman, blood carrier, vaksin dan lain sebagainya [4]. *Cool box* dapat mempertahankan temperaturnya tetap rendah karena terdapat lapisan material yang terbuat dari bahan PU *(Polyurethane)*. Bahan ini cocok untuk pembuatan kabin pendingin karena fungsinya sebagai insulasi yang menghambat perpindahan kalor dari lingkungan menuju kabin.

2.3 Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Komponen sistem refrigerasi kompresi uap memiliki 3 jenis komponen. Pertama komponen utama sistem refrigerasi kompresi uap yang merupakan seperti kompresor, kondenser, alat ekspansi, dan evaporator. Kedua komponen kelistrikan sistem refrigerasi kompresi uap yang memiliki contoh yaitu seperti MCB, *Seletor Switch, relay,* voltmeter dan ampermeter. Ketiga komponen pendukung sistem refrigerasi kompresi uap yaitu seperti *hand valve*, *duct tape,* insulasi, *dan pressure gauge*

2.4 Perhitungan Beban Pendinginan

Perhitungan beban pendinginan ini dilakukan untuk dapat mengetahui beban secara keseluruhan dan kapastias pendingin. Beban transmisi atau beban yang melalui celah dinding, dan beban produk yang terdiri dari beban sensibel produk dan beban respirasi produk. Berikut merupakan rumus untuk mencari beban transmisi dan beban produk[3]:

$$Q_t = U \,.\, A \,.\, \Delta T \quad (1)$$

$$Q_s = \frac{m \; x \; Cp \; x \; \Delta T}{n \; x \; 3600} \quad (2)$$

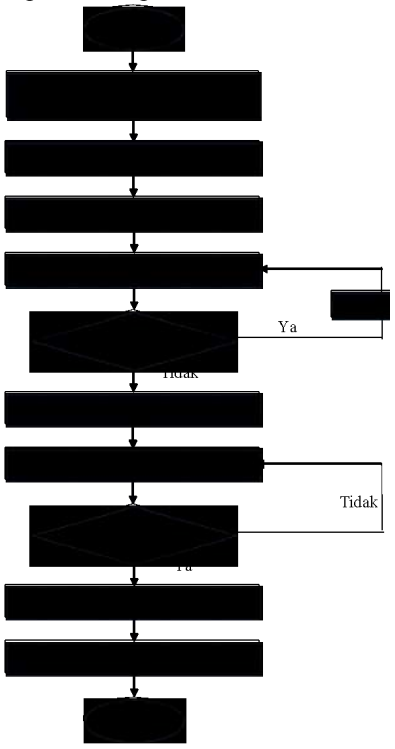
$$Q_{rp} = m \; x \; kalor \; respirasi \quad (3)$$

dengan,

Q_t = Kalor beban transmisi (W)
U = Koefisien perpindahan kalor (W/m^2.K)
A = Luas permukaan (m^2)
ΔT = Perbedaan temperatur (K)
Q_s = Kalor beban sensibel produk (W)
m = massa produk (kg)
Cp = Kalor spesifik sebelum titik beku (kJ/kg.K)
n = *Chilling time* (jam)
kalor respirasi = Kalor respirasi pada buah (mW/kg)

3. METODELOGI

Pada penelitian ini, metodelogi yang dilakukan dengan membuat data perancangan, menghitung beban pendinginan, memilih komponen sistem, instalasi sistem, cek kebocoran sistem, pengujian sistem, pengambilan data, pengolahan data dan kesimpulan. Dapat dilihat pada Gambar 2:



Gambar 2 *Flowchart* Metode Penelitian

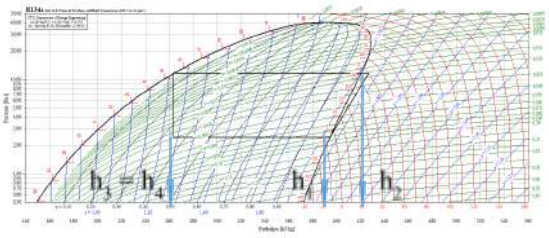
Penelitian ini dilakukan untuk merancang bangun sistem refrigerasi kompresi uap untuk penyimpanan buah alpukat yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan *chilling time*, dan efisiensi sistem.

3.1 Data Perancangan

Tabel 1 Data Perancangan

Rancangan	Keterangan
Jenis Kompresor	*Hermetic*, 1/8 HP
Jenis Kondensor	*Nature 8U*
Jenis Evaporator	Sirip Evaporator
Jenis Refrigeran	R-134a
Temperatur Lingkungan	26°C
Temperatur Kabin	2°C
Temperatur Evaporasi	(-5°C)
Temperatur Kondensasi	45°C
Temperatur Produk	25°C
Temperatur Produk (dikondisikan)	13°C

Pada tabel 1 dapat dilihat data-data yang dibutuhkan dalam perancangan untuk mengetahui *enthalpy refrigerant* yang dibutuhkan dalam menghitung COP serta efisiensi sistem dari data perancangan melalui plot diagram P-h.



Gambar 3 Hasil Plot Diagram P-h Data Perancangan Menggunakan *Software Coolpack*

Pada gambar 3 dapat dilihat nilai yang didapat dari *software coolpack*. Berikut nilainya:

h_1 = 394,284 kJ/kg
h_2 = 426,585 kJ/kg
h_3-h_4 = 263,712 kJ/kg
T_e = -5°C = 268 K
T_k = 45°C = 318 K

dengan,

h_1 = Entalpi refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)
h_2 = Entalpi refrigeran saat masuk kondenser (kJ/kg)
h_3 = Entalpi refrigeran saat masuk alat ekspansi (kJ/kg)
h_4 = Entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
T_e = Temperatur evaporasi (K)
T_k = Temperatur kondensasi (K)

Dari nilai entalpi yang diperoleh, maka dapat ditentukan nilai COP_{aktual} rancangan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$COP_{aktual} = \frac{h1-h4}{h2-h1}$$

$$COP_{aktual} = \frac{394{,}284-263{,}712}{426{,}585-394{,}284}$$

$$COP_{aktual} = 4{,}04$$

Dari nilai temperatur evaporasi dan temperatur kondensasi yang diperoleh, maka dapat ditentukan nilai COP_{carnot} rancangan dengan persamaan berikut:

$$COP_{carnot} = \frac{Te}{Tk-Te}$$

$$COP_{carnot} = \frac{268}{318-268}$$

$$COP_{carnot} = 5{,}36$$

Setelah kedua nilai COP didapatkan, maka dapat menghitung efisiensi sistem dengan persamaan:

$$\text{Efisiensi sistem} = \frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}}\ x\ 100\%$$

$$\text{Efisiensi sistem} = \frac{4{,}04}{5{,}36}\ x\ 100\%$$

Efisiensi sistem = 75,4%

3.2 Perhitungan Beban Pendinginan

Beban pendingin yang pertama yaitu beban transmisi dan beban pendingin yang kedua yaitu beban produk. Untuk menghitung beban

transmisi menggunakan rumus (1), dan untuk menghitung beban produk menggunakan rumus (2), dan (3). Berikut nilai dari beban transmisi dan beban produk:

$Q_t = U \,.\, A \,.\, \Delta T$

Q_t = (0,55 W/m^2.K) . (0,398 m^2) . (24 K)

Q_t = 10,5072 W = 0,01051 kW

$Q_s = \frac{m \; x \; Cp \; x \; \Delta T}{n \; x \; 3600}$

$Q_s = \frac{2 \; x \; 3{,}67 \; x \; (298-286)}{1{,}5 \; x \; 3600}$

Q_s = 0,01631 kW

$Q_{rp} = m \; x \; kalor \; respirasi$

Q_{rp} = 2 x 0,4566

Q_{rp} = 0,9132 W = 0,0009132 kW

$Q_T = Q_t + Q_s + Q_{rp}$

Q_T = 0,01051 + 0,01631 + 0,0009132

Q_T = 0,0277 kW

Setelah mendapatkan beban kalor total dari beban transmisi ditambah beban produk maka selanjutnya menambah dengan *safety factor* untuk menghindari faktor-faktor yang dapat menambah beban tersebut.

Safety factor = Beban total + 10% (dari beban total)

Safety factor = 0,0277 kW + 0,00277 kW

Safety factor = 0,0305 kW

Maka terakhir mencari kapasitas pendinginan yang dibutuhkan yaitu dengan persamaan berikut:

Kapasitas Pendinginan = $Q_{safety\ factor}$ x (24 / Running time)

Kapasitas Pendinginan = 0,305 x (24 / 7,25)

Kapasitas Pendinginan = 0,101 kW = 101 Watt

3.3 Pemilihan Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Pemilihan komponen sistem ini didasari dari kapasitas pendingin yang ada. Pemilihan komponen utama ini pertama kompresor dengan menggunakan kapasitas 1/8 PK. Kapasitas itu memiliki maksimal dalam menangani beban pendinginan sebesar 109 Watt. Pemilihan kondenser dan evaporator mengikuti dari kapasitas kompresor. Pemilihan alat ekspansi menggunakan jenis pipa kapiler dengan diameter 0,031" dan panjang 1,82 meter.

Pemilihan komponen pendukung didasari dari fungsi dari komponen itu sendiri seperti, *filter dryer* untuk menyaring kotoran dan mengeringkan uap air yang terdapat dalam refrigeran, *hand valve* untuk membuka dan menutup laju aliran refrigeran, *pressure gauge* untuk melihat nilai tekanan di sisi tekanan rendah dan tekanan tinggi.

Pemilihan komponen kelistrikan didasari dari kebutuhan listrik kompresor seperti, MCB 10A, *Relay* 10 A, *Selector Switch* untuk mematikan dan menyalakan sistem, *amperemeter* untuk memudahkan melihat nilai arus, *voltmeter* untuk memudahkan melihat nilai tegangan, *pilot lamp* sebagai indikator bahwa sistem sedang bekerja atau tidak bekerja.

3.4 Instalasi Pemipaan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

Instalasi pemipaan merupakan jalur utama untuk aliran refrigeran di dalam sistem. Dibutuhkan ketepatan dan ketelitian dalam membuat instalasi pemipaan ini agar sesuai dengan hasil yang diinginkan. Berikut beberapa proses yang dilakukan dalam proses instalasi pemipaan:

1. Buat gambar rancangan untuk sistem pemipaan yang diinginkan. Tentukan semua penempatan komponen-komponen dan arah aliran pipa.
2. Setelah membuat rancangan gambar pemipaan, ukur pipa sesuai perancangan dan potong sesuai kebutuhan dengan menggunakan *cutter* pipa.
3. Lakukan instalasi pipa yang telah dipotong sesuai kebutuhan dengan komponen yang akan dipasang. Untuk menghubungkan antar pipa atau pipa dengan komponen menggunakan las pipa (*brazing)*. Sebelum mengelas, lakukan terlebih dahulu pembesaran diameter pipa *(swagging)* untuk menghubungkan antar pipa dan *flaring nut* untuk menghubungkan pipa dengan komponen seperti *hand valve* dan *filter dryer*.
4. Gunakan *seal tape* pada sambungan *flaring* nut untuk penutup tambahan sambungan pipa agar pipa tidak mudah bocor dan menutup pipa yang sobek akibat tidak sempurna saat melakukan *flaring*.
5. Sambung semua pipa dengan hati-hati dan teliti agar tidak adanya sedikitpun kebocoran yang terjadi.
6. Setelah semua selesai, kencangkan *nut* antar pipa dan komponen sebaik mungkin dan saat mengencangkan sekuat mungkin tahan sisi sebaliknya dari pipa atau komponen agar jalur tidak berputar.

3.5 Instalasi Kelistrikan Sistem Refrigerasi Kompresi Uap

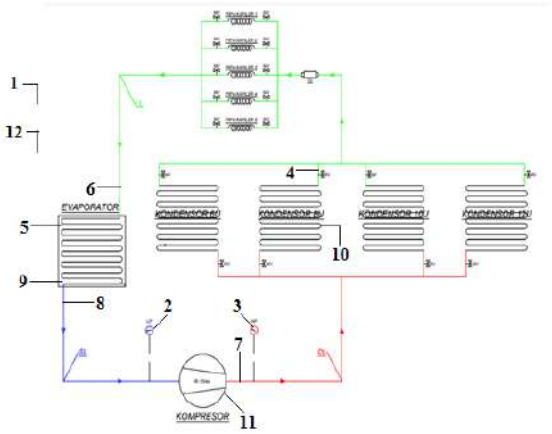
Instalasi kelistrikan merupakan instalasi yang terpenting selain instalasi pemipaan karena disini titiknya apakah sistem menyala atau tidak. Karena jika sistem tidak berjalan maka

ada kesalahan dalam menginstalasi kelistrikannya. Dalam instalasi ini juga dibutuhkan ketepatan dan ketelitian. Berikut beberapa proses yang dilakukan dalam instalasi kelistrikan sistem refrigerasi kompresi uap:

1. Membuat peracangan gambar kelistrikan sesuai kebutuhan.
2. Siapkan segala komponen-komponen yang dibutuhkan. Mau itu komponen utama kelistrikan ataupun komponen bantu kelistrikan.
3. Instalasi setiap komponen kelistrikan secara hati-hati dan teliti di dalam box panel.
4. Hubungkan kabel sesuai dengan gambar perancangan seperti kabel netral (biru) dan kabel fasa (merah).
5. Saat menghubungkan dari MCB ke *relay* kontaktor pastikan titik yang dihubungkan sesuai dengan perancangan. Jangan terbalik!!. Misal hubungkan titik *relay* kontaktor *normally open* (NO) dan jangan salah menjadi titik *relay* kontaktor *normally close* (NC).
6. Setelah kabel terpasang semua, cek dengan menggunakan *multimeter* agar dapat melihat apakah kabel itu teraliri arus atau tidak.
7. Jangan lupa untuk menghubungkan kompresor dengan *relay normally open* secara seri agar dapat mengontrol nyala dan matinya kompresor ketika kabin telah mencapai temperatur yang diinginkan.
8. Pasang komponen tambahan spiral kabel pada kabel kompresor untuk melindungi kabel dari berbagai gangguan.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah merancang dan membangun alat dari sistem yang akan digunakan maka lakukan proses pengambilan data dengan titik-titik pengukuran sebagai berikut:



Gambar 4 Titik Pengukuran

Keterangan:

1. Temperatur lingkungan (°C)
2. Tekanan *suction* (bar)
3. Tekanan *discharge* (bar)
4. Temperatur keluar kondenser (°C)
5. Temperatur kabin (°C)
6. Temperatur masuk evaporator (°C)
7. Temperatur *discharge* (°C)
8. Temperatur *suction* (°C)
9. Temperatur produk (°C)
10. Temperatur kondenser (°C)
11. Arus listrik (A)
12. Tegangan listrik (V)

4.1 Langkah Pengambilan Data

Proses pengambilan data dilakukan selama 5 menit sekali. Pengambilan data ini dilakukan dengan menempatkan sensor di beberapa titik pengukuran yang telah ditentukan. Berikut beberapa proses yang dilakukan saat pengambilan data:

1. Siapkan semua peralatan untuk pengambilan data.
2. Pastikan penempatan sensor dari thermometer sudah terpasang dengan baik pada titik-titik pengukuran.
3. Cek kembali alat pengukuran yang lain dalam kondisi yang baik atau tidak.
4. Catat data awal pada menit ke – 0.
5. Nyalakan sistem dan catat pengambilan data setiap 5 menit sekali.
6. Ukur waktu dengan menggunakan *stopwatch*.
7. Catat data yang telah diambil dan masukan dalam tabel pengukuran.

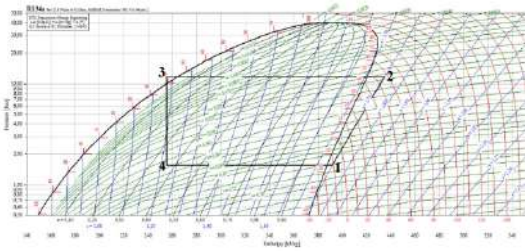
4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan menggunakan data pada menit ke – 31 saat sistem *cut off* dan stabil. Hasil perolehan data dapat dilihat pada tabel 2:

Tabel 2 Hasil Perolehan Data

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Temperatur Lingkungan	26	(°C)
2	Tekanan Suction	1,55	(bar)
3	Tekanan Discharge	11,70	(bar)
4	Temperatur Keluar Kondenser	39,40	(°C)
5	Temperatur Kabin	2,00	(°C)
6	Temperatur Masuk Evaporator	-27,00	(°C)
7	Temperatur Discharge	58,60	(°C)
8	Temperatur Suction	-11,70	(°C)
9	Temperatur Produk	13	(°C)
10	Temperatur Kondenser	42,00	(°C)
11	Arus Listrik	0	(A)
12	Tegangan Listrik	0	(V)

Setelah memiliki data-data pada tabel 2 maka selanjutnya plot diagram P-h dengan menggunakan *software coolpack*. Hasil plot dapat dilihat pada gambar 5:



Gambar 5 Hasil Plot Diagram P-h Data Penelitian Menggunakan *Software Coolpack*

Setelah mendapat hasil plot dari coolpack, maka didapat data-data untuk menghitung kinerja sistem. Hasil yang didapat dapat dilihat pada tabel 3:

Tabel 3 Pengolahan Data Menggunakan *Coolpack*

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	h1	391,434	kJ/kg
2	h2	434,435	kJ/kg
3	h3 = h4	255,264	kJ/kg
4	Temperatur Evaporasi	-11,7	(°C)
5	Temperatur Kondensasi	39,4	(°C)

Temperatur Evaporasi (T_e) = -11,7 °C = 261,3 K

Temperatur Kondensasi (T_k) = 39,4 °C = 312,4 K

Penguraian dari data yang diperoleh untuk mengetahui kinerja sistem refrigerasi kompresi uap:

1). $COP_{aktual} = \frac{h1-h4}{h2-h1}$

$COP_{aktual} = \frac{391,434-255,264}{434,435-391,434}$

$COP_{aktual} = 3,17$

2). $COP_{carnot} = \frac{Te}{Tk-Te}$

$COP_{carnot} = \frac{261,3}{312,4-261,3}$

$COP_{carnot} = 5,11$

3). Efisiensi sistem = $\frac{COP_{aktual}}{COP_{carnot}} x\ 100\%$

Efisiensi sistem = $\frac{3,17}{5,11} x\ 100\%$

Efisiensi sistem = 62,04%

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian didapat bahwa waktu *chilling time* penelitian lebih cepat dibandingkan dengan data perancangan dengan nilai 31 menit.

Efisiensi sistem dari hasil penelitian lebih kecil daripada efisiensi sistem data perancangan dengan nilai 62,04%

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Politeknik Negeri Bandung yang telah memberikan bantuan dana dan fasilitas untuk paper yang akan dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Indriyastuti, A. 2014. Perbandingan Antara Durasi Waktu Pembekuan Terhadap Terjadinya Pembusukan Jaringan Hepar Pada Kelinci. [Online]

[2] Afrianti, L. H. 2010. Macam Buah – buahan untuk Kesehatan. Alfabeta. Bandung. [Online]

[3] ASHRAE. 2009. ASHRAE Handbook: Fundamental. Atlanta: ASHRAE

[4] Fimansyah, Febri. 2009. Pengembangan Cool Box Ramah Lingkungan Untuk Kendaraan Roda Dua Berbasis Termoelektrik. [Online]

[5] ASHRAE. 2018. ASHRAE Handbook: Refrigeration. Atlanta: ASHRAE