

KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONDENSAT UNTUK MENDINGINKAN *LIQUID LINE* PADA CHEST TYPE *MINI COOLER* DENGAN METODE *RADIANT COOLING*

Arda Rahardja Lukitobudi¹⁾, Wendra Luthfi A.L.²⁾

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

Korespondensi: ardarl@yahoo.com

Abstrak

Pendinginan *liquid line* dengan kondensat yang dihasilkan pada dinding chest type mini cooler adalah salah satu cara untuk menambah *subcool* sehingga kapasitas refrigerasi yang dihasilkan akan lebih besar dan dengan demikian akan dihasilkan penghematan energi. Kondensat yang dihasilkan pada chest type mini cooler ini memiliki temperatur yang lebih rendah dari temperatur lingkungan sehingga akan menurunkan temperatur *liquid line*, dimana kondensat tersebut dialirkan ke tabung tube in tube sepanjang 30 cm dengan diameter 1 inci untuk mendinginkan *liquid line*. Radiant cooling didapat dengan menanam coil evaporator ke sekeliling dinding kabin yang terbuat dari semen dimana alat ekspansi menggunakan TXV dengan R22 sebagai refrigeran dengan kapasitas kompresor 1 pk. Kabin dengan dimensi 50cm x 50cm x 50cm dikondisikan pada suhu 5 °C untuk mendinginkan tomat seberat 1 kg. Dari penelitian ini didapat bahwa Chilling Time dengan menggunakan HX kondensat sebesar 35 menit sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 38 menit. *Subcool* rata-rata dengan menggunakan HX kondensat sebesar 3,32°C sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,03°C. *COP*_{aktual} rata-rata dengan HX kondensat sebesar 4,49 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 4,55. Nilai Efisiensi sistem rata-rata dengan HX kondensat sebesar 82,26 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 80,66. Konsumsi energy dengan HX kondensat sebesar 0,635 kWh sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,701 kWh.

Kata kunci: radiant cooling, kondensat, liquid line sub-cooler

Abstract

*Liquid line sub cooler by condensate which is produced from chest type mini cooler wall is one of the methods to increase subcool so that the refrigeration capacity will increase and thus will save energy. Condensate which is produced by chest type mini cooler have lower temperature than the ambient temperature so it will decrease the liquid line temperature, where the condensate is flowed through the tube in tube of 30 cm long with 1inch diameter to cool the liquid line. Radiant cooling is installed by planted evaporator coils in the cement wall where TXV is used as an expansion device with R22 as the refrigerant and 1 hp compressor capacity. Cabin having dimension of 50cm x 50cm x 50cm is cooled upto 5 °C to chilled 1 kg tomatos. The conclusion is that the chilling time with condensate HX is 35 minutes but without condensate HX is 38 minutes. The mean subcool temperature with condensate HX is 3.32 °C but without condensate HX is 0,03 °C. *COP*_{actual} with condensate HX is 4.49 but without condensate HX is 4.55. System efficiency with condensate HX is 82.26% but without condensate HX is 80.66%. Energy consumption with condensate HX is 0.635 kWh but without condensate HX is 0.701 kWh.*

Keywords: radiant cooling, condensate, liquid line sub-cooler.

1. Pendahuluan

Mesin pendingin merupakan kebutuhan utama yang diperlukan di industri terutama pada industri makanan yang dimana pada proses pengaturan temperaturnya membuat produk yg dikondisikan tidak berubah keadaan atau mutu dari keadaan pada saat akan dikondisikan. Namun, terlepas dari hal itu mesin refrigerasi merupakan mesin yang mengkonsumsi energi dalam jumlah yang besar. Priyo menyatakan bahwa konsumsi energi mesin refrigerasi di kantor PT. Karya Energi Sejahtera merupakan yang paling besar dibandingkan dengan peralatan lainnya, yaitu sebesar 54% dari total penggunaan energi listrik [1].

Penghematan energi pada mesin refrigerasi dapat dilakukan salah satunya adalah dengan menambah *subcool* yang biasanya dilakukan dengan menurunkan temperatur pada jalur pemipaan *liquid line* sehingga efek refrigerasi yang dihasilkan akan lebih besar. Kondensat pada kabin chest type mini cooler ini bertemperatur rendah yang merupakan kumpulan uap air yang terkondensasi oleh temperatur dingin dari dinding evaporator sehingga dapat dimanfaatkan untuk mendinginkan jalur pemipaan *liquid line* sehingga dengan cara tersebut *subcool* akan bertambah panjang dan menghasilkan efek refrigerasi yang lebih besar.

Pada penelitian ini, metode pendinginan radian dipilih karena menjadikan dinding kabin sebagai evaporator sehingga kondensat yang dihasilkan oleh pendinginan radian akan lebih banyak sekaligus memberi kelembaban pada ruang kabin penyimpan tomat [2] [3] [4] [5] [6].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini diawali dengan pembuatan *chest type mini cooler test rig* dengan metode *radiant cooling* dan setelah dilakukan *commissioning test* kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data-data yang diperlukan untuk menghitung parameter-parameter uji sebelum mengambil kesimpulan penelitian ini.

2.1. Skematik Sistem

Pada sistem *chest type mini cooler* dengan *air cooled condensing unit 1 Hp* ini akan mendinginkan kabin dengan metoda *radiant cooling* dimana koil evaporator ditanam di dinding semen yang berfungsi sebagai *thermal storage*.

Sistem *chest type mini cooler test rig* dengan metode *radiant cooling* yang digunakan pada penelitian ini memiliki:

1. kabin dengan volume $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}^3$, dimana terdapat pipa tembaga yang tertanam di dinding tegak yang berbahan semen sebagai *thermal storage*-nya yang menggunakan metode *radiant cooling*. Temperatur kabin dirancang pada suhu $5 \text{ }^\circ\text{C}$.
2. HX kondensat tube in tube berdiameter 1 inci dengan panjang 30 cm yang digunakan untuk mendinginkan *liquid line*.
3. *air cooled condensing unit 1 Hp*, katup ekspansi yang digunakan adalah *TXV, filter dryer, sight glass, accumulator, pressure gauges, solenoid valves*.
4. *thermostat, voltmeter, amperemeter, time delay relay, selector switch, pilot lamps, contactors, Arduino-Uno controller*.
5. produk tomat yang didinginkan seberat 1 kg.



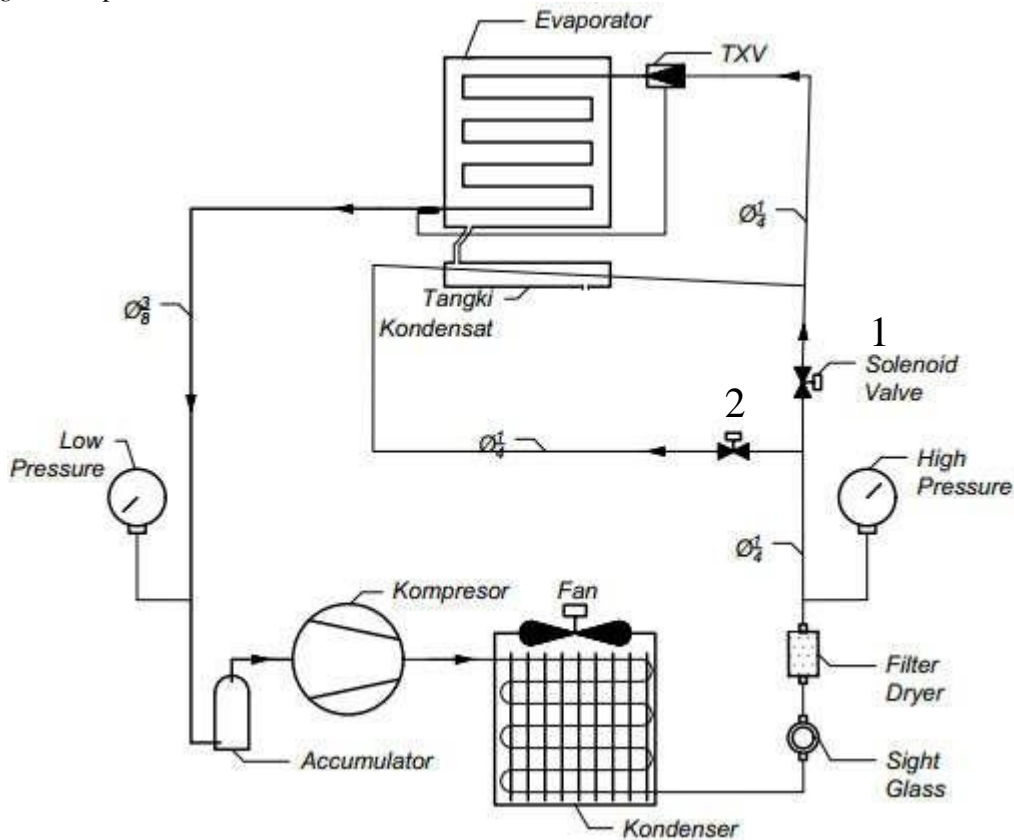
Gambar 1. Konstruksi *Chest Type Mini Cooler* dengan Kabin *Radiant Cooling*



Gambar 2. Konstruksi *heat exchanger* kondensat pada mesin

Pada Gambar 1 terlihat konstruksi dari *Chest Type Mini Cooler* dengan kabin *radiant cooling* dimana terdapat pemipaan yang ditanam dinding tegak kabin, sedangkan konstruksi tube in tube HX

kondensat terlihat pada Gambar 2 dan skematik sistem *Chest Type Mini Cooler* dengan kabin *radiant cooling* terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skematik sistem *Chest Type Mini Cooler* dengan Kabin *Radiant Cooling*

2.2. Parameter Yang Diukur

Adapun parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan katup ekspansi jenis TXV baik dengan dan tanpa menggunakan HX kondensat yaitu:

1. Tekanan *Discharge* (Bar)
2. Tekanan *Suction* (Bar)
3. Temperatur Produk ($^{\circ}\text{C}$)
4. Temperatur *Discharge* ($^{\circ}\text{C}$)
5. Temperatur Keluaran Kondensor ($^{\circ}\text{C}$)
6. Temperatur Keluaran HX ($^{\circ}\text{C}$)
7. Temperatur Keluaran Ekspansi ($^{\circ}\text{C}$)
8. Temperatur Keluaran Evaporator ($^{\circ}\text{C}$)
9. Temperatur Lingkungan ($^{\circ}\text{C}$)
10. Arus Sistem (*Ampere*)
11. Tegangan Sistem (*Volt*)
12. Konsumsi Daya (*kWh*)

Selanjutnya, pengambilan data dilakukan pada kondisi *steady state*, dan dilakukan pencatatan setiap 1 menit selama 417 menit untuk dengan HX kondensat dan 433 menit untuk tanpa HX kondensat.

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapat kinerja dari sistem ini adalah sebagai berikut:

$$Q_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$R_k = \frac{P_d}{P_s} \quad (3)$$

$$\text{COP}_{\text{actual}} = \frac{Q_e}{Q_w} \quad (4)$$

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (5)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{carnot}}} \times 100\% \quad (6)$$

$$Q_{\text{beban}} = Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{brine}} + Q_{\text{ts}} + Q_{\text{pompa}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{dinding}} \times 110\% \quad (8)$$

Dimana Q_w adalah daya kompresor yang diperlukan, Q_e adalah jumlah kalor yang diserap di evaporator, \dot{m} adalah laju lairan massa refrigeran, h_1 adalah entalpi *suction*, h_2 adalah entalpi *discharge*, h_4 adalah entalpi masuk evaporator, R_k adalah perbandingan tekanan *discharge* (P_d) dengan tekanan *suction* (P_s), $\text{COP}_{\text{aktual}}$ adalah perbandingan efek refrigerasi (q_e) terhadap kerja kompresi (q_w), $\text{COP}_{\text{carnot}}$ adalah perbandingan temperatur evaporasi (T_e) dibandingkan dengan selisih temperatur kondensasi (T_k) dan evaporasi (T_e), Efisiensi adalah perbandingan $\text{COP}_{\text{aktual}}$ dan $\text{COP}_{\text{carnot}}$, Q_{beban} dan Q_{total} adalah beban pendingin dan beban pendingin total [7] [8] [9] [10].

3. Hasil Dan Analisis

Chilling Time dengan menggunakan HX kondensat sebesar 35 menit sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 38 menit. *Subcool* rata-rata dengan menggunakan HX kondensat sebesar 3,32°C sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,03°C. $\text{COP}_{\text{aktual}}$ rata-rata dengan HX kondensat sebesar 4,49 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 4,55. Nilai Efisiensi sistem rata-rata dengan HX kondensat sebesar 82,26 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 80,66. Konsumsi energy dengan HX kondensat sebesar 0,635 kWh sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,701 kWh.

Beban sebelum ditambah safety factor adalah sebesar $Q_{\text{beban}} = 1047,84$ watt sedangkan beban total setelah ditambah safety factor 10% adalah sebesar $Q_{\text{total}} = 1152,62$ watt.

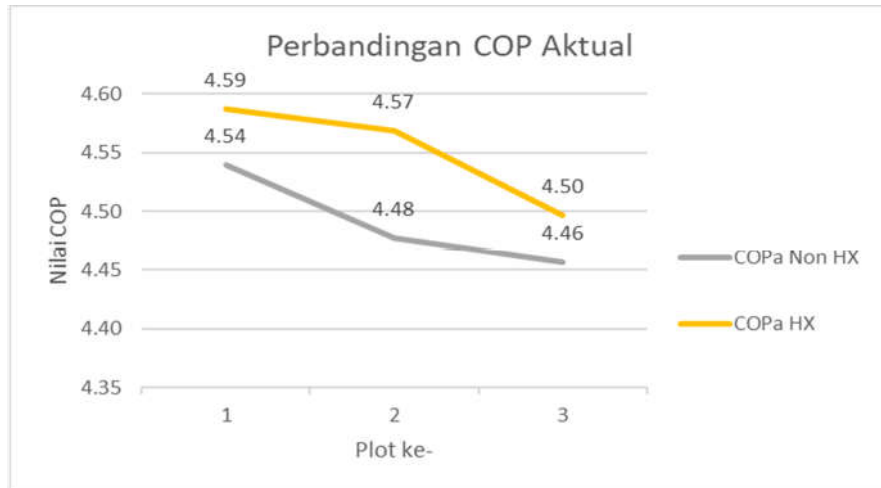
Tabel 1. Kinerja sistem dengan menggunakan HX kondensat

No	Parameter	Menit 33	Menit 34	Menit 35
1	Efek Refrigerasi [kJ/kg]	184,09	185,75	185,71
2	Kerja Kompresi [kJ/kg]	40,13	40,66	41,30
3	$\text{COP}_{\text{aktual}}$	4,59	4,57	4,50
4	$\text{COP}_{\text{carnot}}$	5,51	5,51	5,51
5	Efisiensi [%]	83,30	82,90	81,60

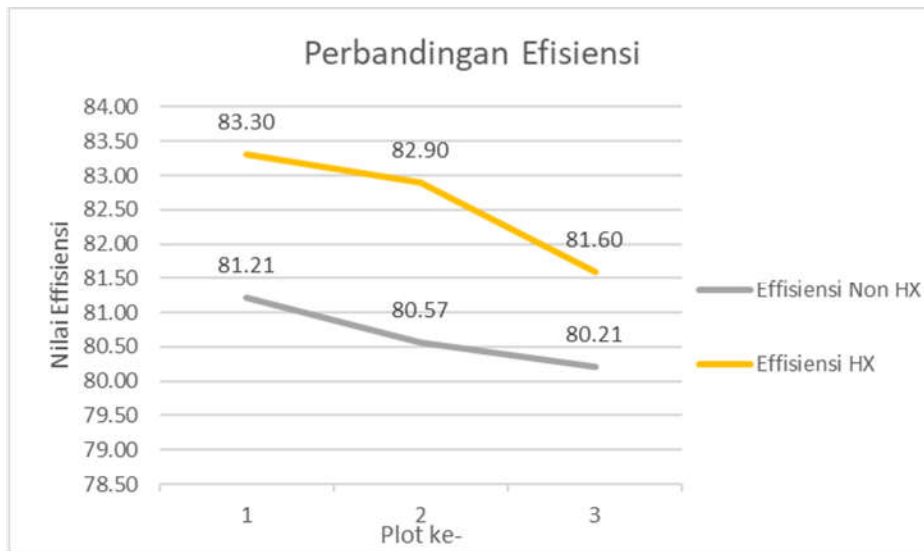
Tabel 2. Kinerja sistem tanpa menggunakan HX kondensat

No	Parameter	Menit 36	Menit 37	Menit 38
1	Efek Refrigerasi [kJ/kg]	179,18	179,01	179,10
2	Kerja Kompresi [kJ/kg]	39,47	39,98	40,19
3	$\text{COP}_{\text{aktual}}$	4,54	4,48	4,46
4	$\text{COP}_{\text{carnot}}$	5,56	5,56	5,56
5	Efisiensi [%]	81,65	80,57	80,21

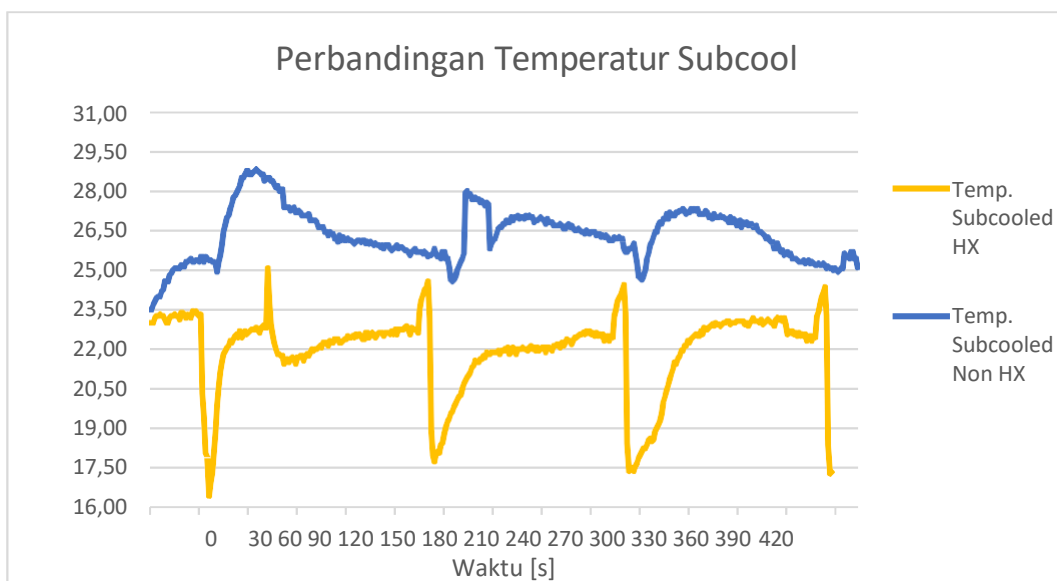
Terlihat pada Gambar 4 bahwa semakin dekat dengan *cut-off* kedua kondisi mengalami penurunan COP aktual hal ini dipicu karena temperatur *discharge* pada dua kondisi mengalami kenaikan terus-menerus sehingga kerja kompresi yang dilakukan kompresor terus bertambah dan tidak diimbangi dengan bertambahnya efek refrigerasi mengakibatkan penurunan nilai COP aktual pada sistem. Demikian halnya efisiensi yang diperoleh pada mesin yang menggunakan HX kondensat lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa menggunakan HX kondensat seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 4. Grafik perbandingan nilai COP Aktual

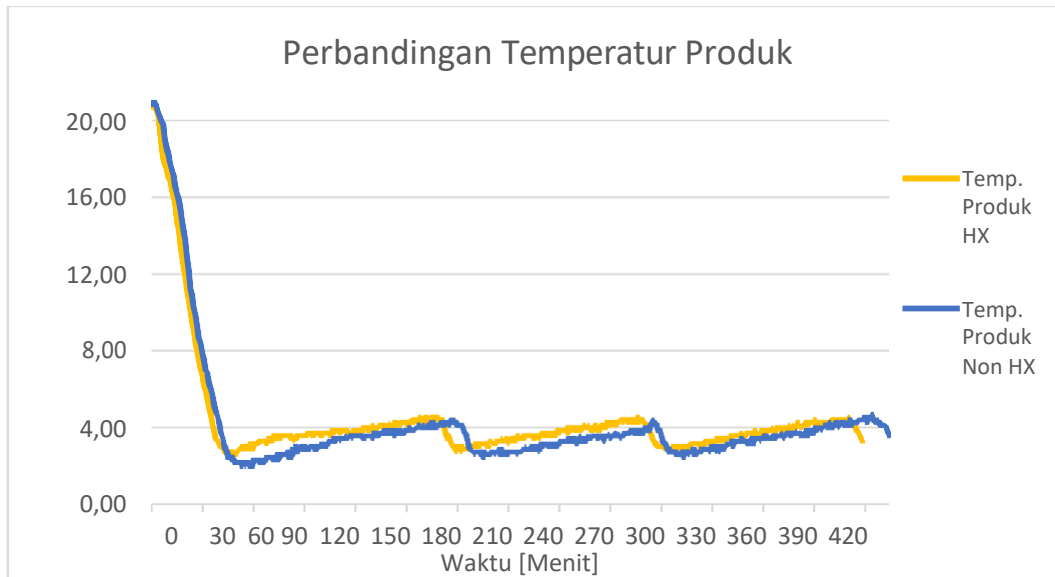


Gambar 5. Grafik perbandingan efisiensi

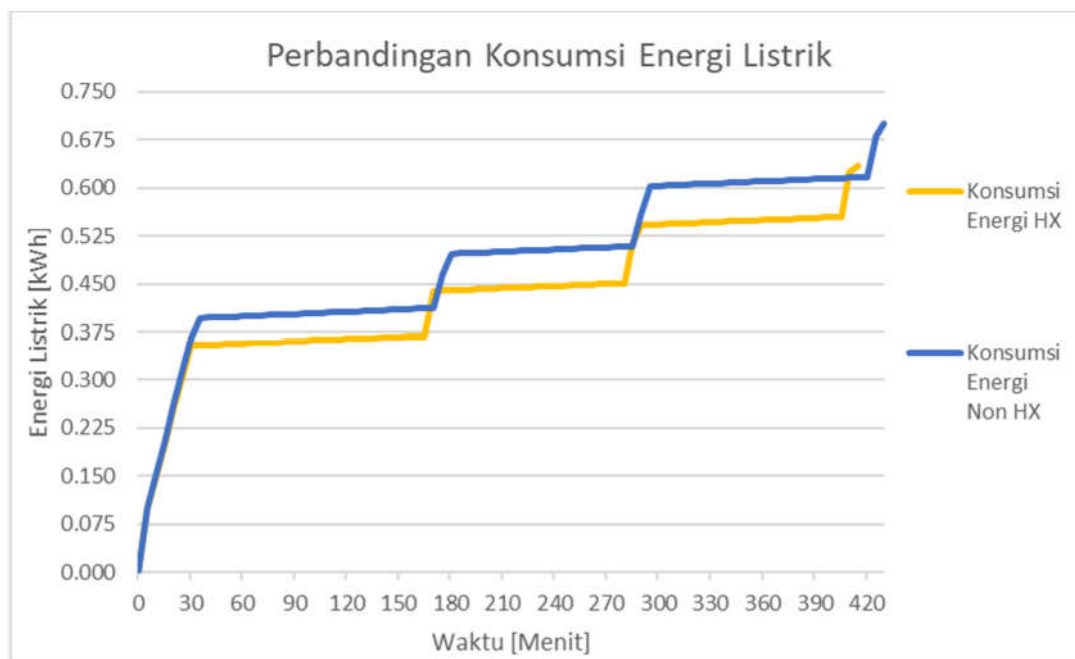


Gambar 6. Grafik perbandingan temperatur subcool terhadap waktu

Pada Gambar 6 dimana pada menit ke-25, sistem yang menggunakan HX kondensat mulai meneteskan kondensat yang digunakan untuk mendinginkan pipa *liquid line* pada tabung kondensat (HX kondensat). Ketika dalam keadaan sistem mati (*cut-off*), kondensat tetap menetes namun dengan jumlah yang lebih sedikit dibandingkan dengan kondisi *cut-in*. Hal tersebut yang menyebabkan temperatur *subcool* pada saat *cut-off* lebih tinggi. Demikian pula *Chilling time* pada sistem yang menggunakan HX kondensat lebih cepat 3 menit dibandingkan dengan *chilling time* yang tidak menggunakan HX kondensat, karena temperatur *subcool* mempengaruhi efek refrigerasi sistem, sehingga sistem yang menggunakan HX kondensat memiliki temperatur *subcool* yang lebih rendah sehingga akan memperbesar efek refrigerasi sistem dan kalor yang diserap dari kabin akan lebih banyak. Hal tersebut membuat penyerapan kalor pada kabin sistem yang menggunakan HX kondensat lebih cepat.



Gambar 7. Grafik perbandingan temperatur produk terhadap waktu



Gambar 8. Grafik perbandingan konsumsi energi listrik terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 8, konsumsi energi listrik pada sistem yang menggunakan HX kondensat lebih sedikit dibandingkan sistem yang tidak menggunakan HX kondensat, untuk bekerja tiga kali *cut-off* dan tiga kali *cut-in* sistem yang menggunakan HX kondensat memerlukan energi listrik sebesar 0.635 kWh, sedangkan sistem yang tidak menggunakan HX kondensat memerlukan energi listrik yang lebih besar, yaitu 0.701 kWh.

4. Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa serta perhitungan pada penelitian tentang “Kaji Eksperimental Pengaruh Kondensat Untuk Mendinginkan *Liquid Line* Pada Chest Type Mini Cooler Dengan Metode *Radiant Cooling*”, didapatkan beban total pendinginan sebesar 1152,62 watt.

Chilling Time dengan menggunakan HX kondensat sebesar 35 menit sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 38 menit. *Subcool* rata-rata dengan menggunakan HX kondensat sebesar 3,32°C sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,03°C. COP_{aktual} rata-rata dengan HX kondensat sebesar 4,49 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 4,55. Nilai Efisiensi sistem rata-rata dengan HX kondensat sebesar 82,26 sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 80,66. Konsumsi energi dengan HX kondensat sebesar 0,635 kWh sedangkan tanpa HX kondensat sebesar 0,701 kWh.

Studi lanjut berikut dapat dilakukan dengan mengontrol kelembaban dan laju aliran udara pada kabin *chest type mini cooler* dengan metoda *radiant cooling* ini karena pada penelitian ini baik kelembaban maupun laju aliran udara tidak dikontrol.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan yang diberikan pada pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Priyo. *Audit Energi di Kantor PT. Karya Energi Sejahtera. Kesejahtera* : <https://www.kesejahtera.co.id/const-blog/320-regulasi-audit-energi>, 2015.
- [2] ASHRAE. *ASHRAE HANDBOOK: HVAC System and Equipments*, SI Edition. Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc., 2004
- [3] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of Refrigeration System and Applications*, SI Edition, Atlanta, Georgia, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc., 2014.
- [4] ASHRAE. *ASHRAE HANDBOOK: Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications*, SI Edition, Atlanta, Georgia, 2015.
- [5] Komarudin. TT., *Analisis Pengaruh Perubahan Material Suction Pipe dari Tembaga Menjadi Aluminium terhadap Cooling Performance Chest Freezer Tipe GCF-265*, Institut Teknologi Nasional, Jakarta.
- [6] Moore, T., Bauman, dan Huinzenga. *Radiant Cooling Research Scoping Study*. Berkeley: University of California, 2006.
- [7] Boyle, Graham. *Australian Refrigeration and Air Conditioning Vol.2.*, Trust Publication, Australia, 1988.
- [8] Dossat, R J. *Principle of Refrigeration and Air conditioning*, 2nd Edition, John Willey and Sons, New York, 1985.
- [9] Rustandi. R., *Pemanfaatan Air Kondensat dari Evaporator yang Biasa Terbuang untuk Meningkatkan Unjuk Kerja AC Split*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2013.
- [10] Widodo.S, dan Hasan, *Sistem Refrigerasi dan Tata Udara Jilid 1 untuk SMK*, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008.