

POWERPLANT

**Prayudi
Sudirmanto
Dimas Indra Wijaya**

**Analisis Kinerja Kondensor Sebelum dan Sesudah
Overhaul di PT Indonesia Power UJP PLTU Lontar
Banten Unit 3**

Sahlan

**Studi Literatur Analisis Dugaan Luluh Energi Pada Tube
Baja A53 Grade B**

**Eko Sulistyono
Firman Prasetyo**

**Identifikasi Material Tube High Pressure Economizer
HRSG Unit 2-3 PLTU UP Semarang**

**Roswati Nurhasanah
Prayudi**

**Pengaruh Penambahan Liquid Suction Heat
Exchanger Terhadap Performa Mesin Pendingin
Menggunakan R404A**

**Halim Rusjdi
Andika Widya Pramono
Wahyu Bawono Faathir**

**Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis
dan Struktur Mikro Pada Baja AISI 4340**

**Vendy Antono
Caesar Febria A.R.Y**

**Perancangan PLTMH Kapasitas 30 KW, Desa GiriTirta
Kec. Pejawaran Banjarnegara Jawa Tengah**

**Arief Suardi Nur Chairat
Vendy Antono**

**Pengembangan Model Perencanaan Alokasi
Pesanan Pada Fungsi Koordinasi Produksi Untuk
Miminimasi Biaya Produksi dan Biaya Pengiriman**



SEKOLAH TINGGI TEKNIK-PLN

JURNAL POWERPLANT

Vol. 4

No. 2

Hal. 60-xxx

Mei 2016

ISSN No :2356-1513

PENGARUH PENAMBAHAN LIQUID SUCTION HEAT EXCHANGER TERHADAP PERFORMA MESIN PENDINGIN MENGUNAKAN R404A

ROSWATI NURHASANAH

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : roswatinurhasanah@gmail.com

PRAYUDI

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : prayudi.sttpln@gmail.com

Abstract

One method to improve the performance of vapor compression refrigeration system using subcooling. The liquid line suction heat exchanger (LLHX) sub-cooler is a method to increase the cooling capacity of the evaporator by lowering temperature at the condenser outlet. LLHX always Increased effect of refrigeration, work of compressor and heat rejected in the condenser. The results Showed that LLHX lowering condenser exit temperature and exit temperature compressor increases as a result of superheat. LLHX exit temperature compressor with stable at 28oC compared to 16oC on the operation without LLHX in 60 minutes. The experimental results also showed that the evaporation temperature decreases of 15.2 with the addition LLHX be 17.4oC. and the latter can increase the value of COP of 2.85 until 3.5.

Keywords : liquid suction heat exchanger, R404A, COP

I. PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan kinerja sistem, fasa refrigeran keluaran kondenser perlu didinginkan lebih lanjut, sehingga fasanya menjadi subcool (liquid). Proses ini disebut subcooling. Subcooling dapat meningkatkan kinerja sistem refrigerasi karena metode ini dapat meningkatkan kapasitas pendinginan. Terdapat tiga metode subcooling, yaitu liquid-suction, dedicated dan integrated (Zubair, 1990; Khan and Zubair, 2000; Zubair, Qureshi and Zubair, 2012). Selain dapat meningkatkan kapasitas pendinginan efek dari penggunaannya adalah mencegah refrigeran yang akan masuk ke dalam kompresor (suction) berfasa liquid, yang dapat merusak kompresor. Dengan adanya liquid-suction, mengakibatkan fasa refrigeran pada suction selalu gas (vapor), sehingga aman bagi kerja kompresor. Di sisi lain, jika tingkat pemanasan berlebih terlalu tinggi, akibatnya suhu discharge kompresor meningkat yang berakibat pada peningkatan konsumsi daya. sehingga, subcooling menggunakan liquid suction tidak selalu meningkatkan COP (Zubair, Quresi 2012). Vijayan dan Srinivasan (2009) melaporkan peningkatan COP pada hasil

pengujian menggunakan liquid-suction pada pengkondisi udara menggunakan refrigeran R-22 dan R-407C berturut-turut sebesar 5.86% dan 6.3%.

Beberapa penelitian dengan menambahkan penukar kalor *sub-cooling* pada sistem refrigerasi kompresi uap. Penelitian liquid *sub-cooling* (Bolaji, B.O, Akintunde, M.A., Falade, T.O, 2010) dengan menggunakan lima refrigerant R23, R32, R134a, R134a dan R152a yang dipilih berdasarkan kriteria *inflammability*, *toxicity* dan *atmospheric lifetime* sebagai pengganti R12. Digunakan penukar kalor *sub-cooling* untuk mengevaluasi kinerja kelima refrigerant berdasarkan kriteria COP, RCI, dan efektivitas penukar kalor. Hasil penelitian diperoleh pada efektivitas penukar kalor terjadi antara 0-0.1, RCI terjadi antara -10% s.d 20 %, dan relative sistem COP terjadi antara -10% s.d. 20 %. Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa penggunaan refrigerant R152a, R134a dan R143a dalam sistem refrigerasi kompresi uap dengan *sub-cooling* kinerjanya lebih baik dari pada R23 dan R32.

Penelitian siklus kompresi uap dengan *liquid sub-cooling* (Potter, Gustavo and Predrag

S. Hrnjak, 2012) pada sistem pendingin mobil. Refrigerant yang digunakan adalah R1234yf, R410a, R134a, dan R717, temperatur sub-cooling diukur antara 0°C-21°C. Hasil penelitian membuktikan bahwa kenaikan subcooling kondensor, COP maksimum dihasilkan dibawah kondisi kondisi (i) kenaikan efek refrigerasi, (ii) penurunan temperatur keluar kondensor, (iii) naiknya tekanan kerja compressor, dan (iv) kenaikan tekanan kondensasi. Kenaikan tekanan kondensasi berhubungan dengan penurunan perbedaan temperatur udara-refrigerant, koefisien perpindahan panas subcooling. Sifat-sifat termodinamika yang berkaitan dengan naiknya efek refrigerasi, seperti panas spesifik cairan, panas laten evaporasi dominan menentukan maksimum COP sistem subcooling condensor.

Hasil penelitian M. Nuriadi, dkk 2010 dengan menggunakan refrigerant R404A tekanan discharge 11.76 bar sebelum menggunakan liquid suction dan mengalami kenaikan setelah menggunakan liquid suction hingga 12,5 bar. Pada sisi discharge mengalami penurunan hingga 0.6 bar menjadi 0.3 bar, temperatur evaporasi turun dari -35°C menjadi mencapai -40°C. Dari sisi COP mengalami penurunan dari rata-rata 2.18 menjadi 2.1 akan tetapi mengalami penurunan daya konsumsi listrik dari 303.78 W menjadi 274.78 W.

Sukamto, dkk 2014 menggunakan refrigerant R22 dan terjadi peningkatan kapasitas pendinginan sebesar 0.91% hingga 10.27% pada temperatur lingkungan 30, 35 dan 40°C. Selain peningkatan kapasitas pendinginan, juga dihasilkan peningkatan kerja kompresor, yaitu sebesar 0.52% hingga 5.07% untuk temperatur lingkungan 30, 35 dan 40°C. Oleh karena persentase peningkatan kapasitas pendinginan lebih tinggi dari peningkatan konsumsi daya, maka penggunaan liquid-suction subcooler juga meningkatkan COP (coefficient of performance), yaitu sebesar 0.39% hingga 4.95% untuk temperatur lingkungan 30, 35 dan 40°C

P thangavel dan P Somusundara (2013) menggunakan campuran R290 dan R600a dengan prosentase 50:50, diperoleh COP mengalami peningkatan sekitar 2,44%, 3,23% dan 4% pada kondisi subcooling 3°C, 4°C dan 5°C. Abdual, dkk (2007) menggunakan campuran R-290/600a pada mesin refrigerasi dengan komposisi (63:38) sebagai pengganti R12 mencapai temperatur evaporasi -6.8 °C, Pengembangan Model statistik untuk

Memprediksi Kinerja R22, R134a dan R290/R600a Campuran pendingin menggunakan Desain Eksperimen yang menyimpulkan bahwa campuran terbaik adalah propan 79% + Isobutan 21%.

Dari berbagai penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa salah satu cara untuk meningkatkan efek refrigerasi digunakan teknologi liquid line-suction. Saat ini cold storage di laboratorium Pendingin STT-PLN menggunakan R404A dengan temperature evaporasi hanya mencapai -15.2°C. Untuk meningkatkan efek refrigerasi digunakan teknologi liquid line-suction line sub cooling. Sehingga dengan adanya penambahan subcooling, maka diharapkan temperature evaporasi dapat mencapai suhu -17 °C.

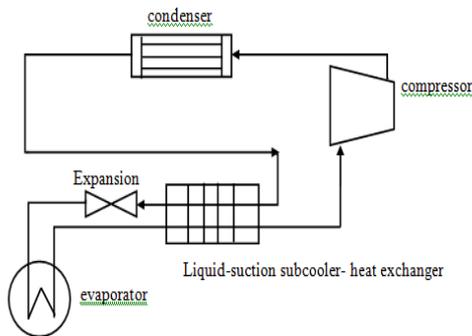
II. KAJIAN LITERATUR

Sistem Refrigerasi dengan Subcooling

Pada siklus refrigerasi kompresi uap sederhana, fasa refrigeran keluar kondenser adalah *saturated liquid*. Untuk meningkatkan kinerja sistem pengkondisian udara dan refrigerasi kompresi uap biasanya digunakan beberapa metode antara lain (Wankhede, U.S, 2009) : Sub cooling, amplifikasi tekanan Liquid dan Penambahan zat adiktif dalam refrigerant. Untuk meningkatkan kinerja sistem, fasa refrigeran keluaran kondenser perlu didinginkan lebih lanjut, sehingga fasanya menjadi subcool (liquid). Dampak adanya subcooling akan mengakibatkan terjadinya superheater uap panas lanjut sebelum masuk suction compressor. Penukar panas liquid suction dipasang dalam sistem refrigerasi dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja sistem . Khususnya, ASHRAE (1998) menyatakan bahwa penukar panas liquid suction efektif dalam (1) meningkatkan kinerja sistem (2) subcooling refrigeran cair untuk mencegah pembentukan gas flash pada lubang ke katub alat ekspansi (3) sisa cairan sepenuhnya menguap dalam liquid-suction sebelum mencapai compresor. (Klein et.al, 2000)

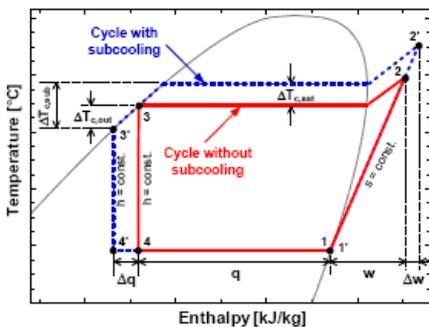
Dalam skematik diagram, sistem refrigerasi kompresi uap dengan sub cooling diperlihatkan pada Gambar 1, dalam sistem ini, cairan temperatur tinggi keluar dari kondensor pada kondisi sub-cooling dalam penukar kalor sebelum masuk pada katub ekspansi menuju tekanan evaporator. Penukar panas sub-cooling

adalah alat penukar panas yang memindahkan panas secara tidak langsung dari cairan refrigerant pada tekanan dan temperatur tinggi keluar dari kondensor ke uap refrigerant temperatur rendah yang meninggalkan evaporator. Penukar panas subcooling ini berdampak pada sistem refrigerasi.



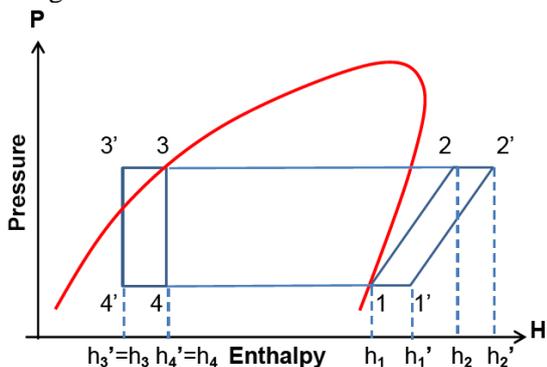
Gambar 1 Diagram Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Dengan Subcooling

Mekanisme siklus sistem refrigerasi kompresi uap dengan dan tanpa subcooling digambarkan pada gambar berikut ini (Pottker and Hrnjk, 2012).



Gambar 2 Diagram T-s Siklus Refrigerasi Tanpa dan Dengan Subcooling

Pada diagram p-h diagram sistem refrigerasi kompresi uap dengan subcooling digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3 Diagram p-h Siklus Refrigerasi Tanpa dan Dengan Subcooling

Kinerja sistem refrigerasi dengan subcooling didefinisikan oleh (Domanski, 1992).

$$COP_{sub} = \frac{q + \Delta q}{w + \Delta w} = COP \frac{1 + \frac{\Delta q}{q}}{1 + \frac{\Delta w}{w}} \quad (1)$$

dimana COP_{sub} menyatakan COP sistem dengan subcooling liquid-suction. Karena COP_{sub} merupakan perkalian COP dengan $(1 + \Delta q/q - \Delta w/w)$ akan selalu lebih besar jika COP dengan subcooling liquid-suction berguna. Hal ini karena, $\Delta q/q$ dan $\Delta w/w$ selalu positif atau lebih besar dari nol. Jadi kinerja dampak dari pemasangan subcooling liquid-suction ditentukan dari besarnya $\Delta q/q$ dan $\Delta w/w$. Kenaikan relative efek refrigerasi $(1 + \Delta q/q - \Delta w/w)$ dapat didekati dengan rumus (Pottker and HRNJAK, 2012). Untuk menghitung perubahan efek refrigerasi adalah dengan rumus (Prayudi dan Roswati, 2015),

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{h_4 - h_4'}{h_1 - h_4} \quad (2)$$

Dengan cara yang sama bahwa kenaikan kerja kompresor isentropic spesifik diberikan oleh persamaan (Potter and HRNJAK, 2012).

$$\frac{\Delta w}{w} = \frac{h_2' - h_2}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Untuk mengetahui kinerja penukar kalor subcooling yang dinyatakan dalam efektivitas (ϵ) yang menyatakan rasio antara laju perpindahan panas actual terhadap laju perpindahan panas yang optimum. Efektivitas ini berkaitan dengan luas permukaan penukar kalor. Efektivitas ini diberikan oleh persamaan (Bolaji, 2010, Klein et.all, 2000), yaitu.

$$\epsilon = \frac{T_{vapour, out} - T_{vapour, in}}{T_{liquid, out} - T_{vapour, in}} = \frac{T_1' - T_1}{T_3 - T_1} \quad (4)$$

Refrigerant

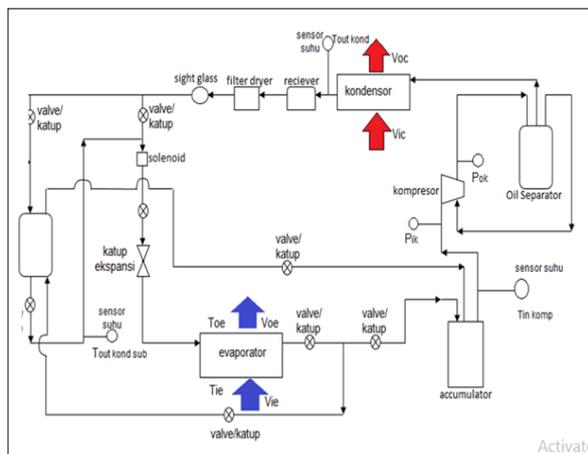
Refrigeran merupakan fluida kerja pada sistem Refrijerasi atau pompa kalor. Refrijerasi ini berfungsi menyerap kalor dari suatu lingkungan yang dikondisikan dan membuangnya ke lingkungan yang lain, hal ini dilakukan melalui proses evaporasi (penguapan) dan kondensasi (pengembunan).

Tabel 1. Propertis Refrigeran (Calm and Hourahan, 2001)

| Refrigerant | Composition | Replaces | Mole (wt) | Critical temp. (°C) | Boiling point (°C) | ASHARAE Safety code |
|-------------|-----------------------------|---------------|-----------|---------------------|--------------------|---------------------|
| R404A | R125/R143a/R134a (44:52:4) | R502, R22 | 96.7 | 72.1 | -46.4 | A1 |
| R407C | R32/R125/R134a (23:25:52) | R22 | 86.2 | 87.2 | -43.56 | A1 |
| R410A | R32/R125 (50:50) | R22 | 72.58 | 72.5 | -51.53 | A1 |
| R417A | R125/R134a/R600 (46.60:3.4) | R502 | 106.7 | 89.9 | -38.0 | A1 |
| R161 | Pure fluid | R12 | 89.41 | 102.2 | -46.08 | A1 |
| R134a | Pure fluid | R12, R134a | 102.0 | 101.1 | -26.5 | A1 |
| R152a | Pure fluid | R12, R134a | 66.05 | 113.3 | -24 | A2 |
| R600a | Pure fluid | R12, R22 | 58.12 | 134.7 | -11.6 | A3 |
| R600 | Pure fluid | R12, R22 | 58.12 | 152.0 | -0.5 | A3 |
| R290 | Pure fluid | R12, R134a | 44.1 | 96.7 | -42.1 | A3 |
| RC270 | Pure fluid | R22 | 32.08 | 92.4 | -33.5 | A3 |
| R1270 | Pure fluid | - | - | 132.3 | -47.7 | A3 |
| R717 | Pure fluid | R22, R12 | 17.03 | 92.4 | -33.3 | B1 |
| R744 | Oure fluid | R22, R12 | 44.01 | 31.1 | -78.4 | A1 |
| R507 | R125/R134a (50:50) | R502 | 98.9 | 70.9 | -47.1 | A1 |
| R123 | Pure fluid | R22, R11, R12 | 152.9 | 183.8 | -27.8 | A1 |
| R12 | Pure fluid | - | 120.9 | 112.0 | -29.79 | A1 |
| R22 | Pure fluid | - | 86.47 | 96.2 | -40.8 | A1 |
| R502 | R22/R115 (48.8:51.2) | - | 111.6 | 80.7 | -45.4 | A1 |

III. METODE PENELITIAN

Mesin RTU Cold Storage yang ada di Laboratorium Teknik Pendingin STT PLN didesain temperatur evaporasi sampai dengan -40°C. peralatan utama terdiri dari kompresor, kondensor, evaporator, expansion valve, dan heat exchanger jenis tube and tube. Sedangkan peralatan pendukung terdiri dari akumulator, oil separator, filter dryer, pressure gauge dan termocouple, sight glass.



Gambar 4 Rancangan Alat Uji



Gambar 5 RTU Cold Storage Penelitian

Adapun spesifikasi dari peralatan utama adalah sebagai berikut :

Tabel 2 Spesifikasi Peralatan Utama

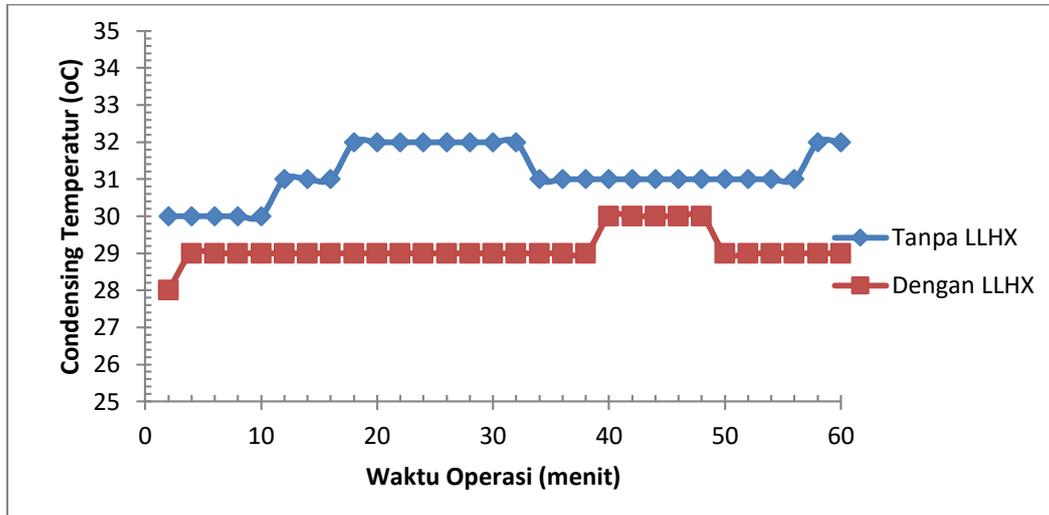
| | |
|-----------------------|---|
| Kompresor | |
| Merk/Model | Tecumseh/CAJ9480T |
| Type/IPH | Hermetik/France |
| Daya | 1/2 hp |
| Refrigerant | R.22, R404A, R134A, R407C dan R507A |
| Voltage | 220V-240 V/50 Hz |
| Tekanan kompresi | 0-50 psi |
| Pemulas | Sintetis |
| Dimensi | Panjang : 23 cm, Tinggi : 15 cm, Tinggi : 30 cm |
| Kondensor | |
| Merk/Model | Tecumseh/CAJ9480T |
| Type | Shel and Coils Air Cooled Condensor |
| Material | Pipa Tembaga, Polycarbonat |
| Dimensi | Panjang : 28 cm, Tinggi : 24 cm, Lebar : 7 cm |
| Katup Ekspansi | |
| Type | Kapiler d1 = 0,31 cm, p = 3 m dan d2 = 0,80 cm, p = 90 cm |
| Material | Pipa tembaga |
| Evaporator | |
| Merk/Model | Luvata, EVS40ED |
| Type | Shel and Coils Air Cooled Evaporator |
| Material | Pipa Tembaga, Polycarbonat |
| Capacity | 0.291 kW |
| Refrigerant | R22, R404a, R134a, R407c dan R507a |
| Fan Motor | 53 W |
| Heather Power | 480 W |
| Dimensi | Panjang : 30 cm, Tinggi : 10.5 cm, lebar : 10 cm |
| Heat Exchanger | |
| Type | Tube and Tube |
| Material | Pipa Tembaga |
| Dimensi | Panjang : 60 cm, d1 = 3/4 inch, d2 = 1/4 inch |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

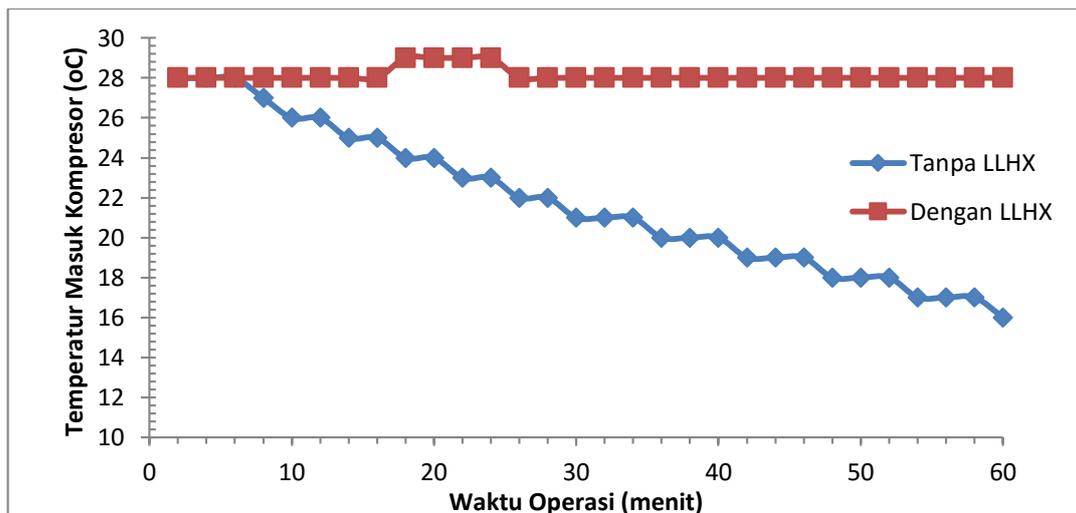
Penambahan LLHX berpengaruh terhadap temperature yang keluar dari kondensor. Hal ini terlihat dari gambar diatas, dengan adanya penambahan LLHX maka temperature yang keluar kondensor akan lebih rendah dibandingkan dengan sistem yang tidak menggunakan LLHX. Hasil ini sama dengan penelitian dari (Potter, Gustavo and Predrag S. Hrnjak, 2012) bahwa siklus kompresi uap dengan penambahan liquid sub-cooling akan menurunkan temperature keluar kondensor. (Zubair, 1990; Khan and Zubair, 2000; Zubair, Qureshi and Zubair, 2012) dengan

menambahkan subcooling, maka dapat meningkatkan kinerja sistem, dimana fasa refrigeran keluaran kondenser didinginkan lebih lanjut, sehingga fasanya menjadi subcool

(liquid). Perbedaan temperatur keluar kondensor dengan menggunakan dan tanpa LLHX hingga mencapai 3°C.



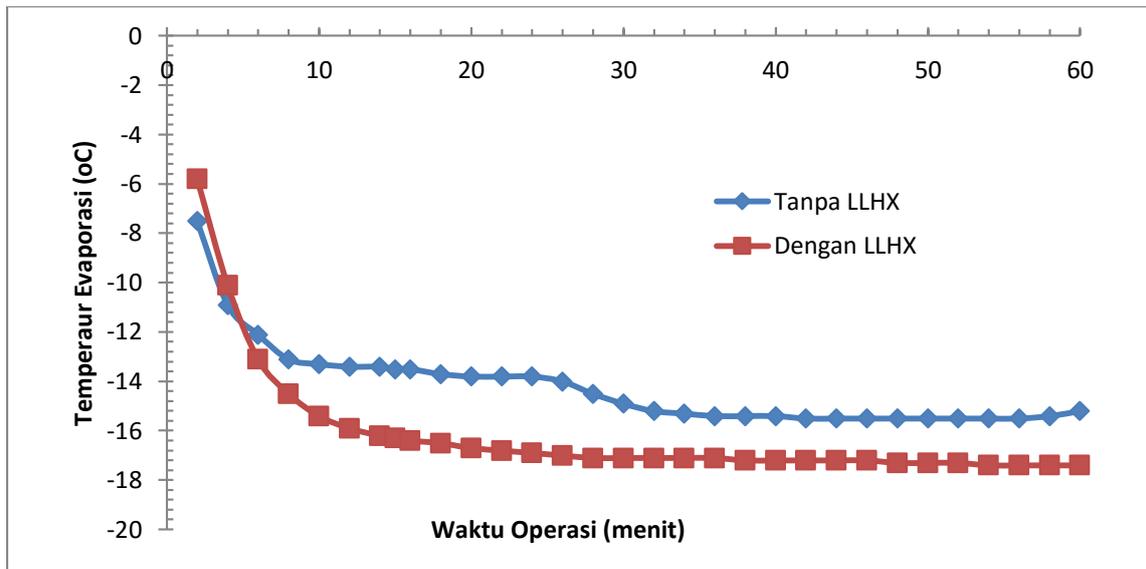
Gambar 6 Pengaruh waktu operasi terhadap condensing temperature



Gambar 7 Pengaruh Waktu Operasi terhadap Temperatur Masuk Kompresor

Selain berpengaruh terhadap penurunan temperature keluar kondensor, penambahan LLHX berpengaruh pula terhadap kenaikan temperature masuk kompresor. Dari gambar 7 diatas terlihat bahwa dengan adanya penambahan LLHX maka temperature masuk kompresor lebih tinggi dari pada temperature masuk kompresor tanpa menggunakan LLHX. Semakin lama mesin beroperasi maka temperature masuk kompresor semakin rendah hingga mencapai 16°C pada pengoperasian mesin 60 menit, sedangkan dengan LLHX maka temperature keluar evaporator menjadi fase

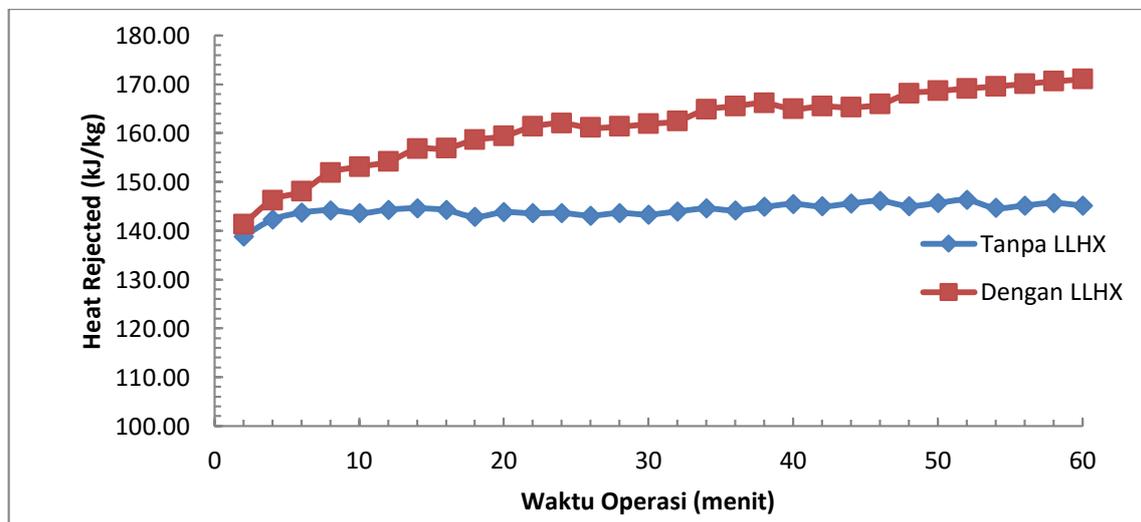
superheated. Hal ini terjadi sebagai akibat dari penyerapan panas yang lebih besar dari pada yang dibutuhkan untuk penguapan sehingga kalornya digunakan untuk meningkatkan temperature masuk kompresor. Temperature masuk kompresor stabil di 28°C dengan adanya penambahan LLHX. Zubair, Quresi 2012 menyatakan bahwa dengan adanya liquid-suction, dapat mengakibatkan fasa refrigeran pada suction selalu dalam fasa gas (vapor), sehingga aman bagi kerja kompresor.



Gambar 8 pengaruh waktu operasi terhadap temperature Evaporasi

Dari gambar 8 terlihat bahwa dengan adanya penambahan LLHX maka temperature evaporasi lebih rendah hingga mencapai -17.4°C dibandingkan dengan mesin tanpa tambahan LLHX yang hanya mencapai -15.2°C pada pengoperasian mesin 60 menit. Penurunan

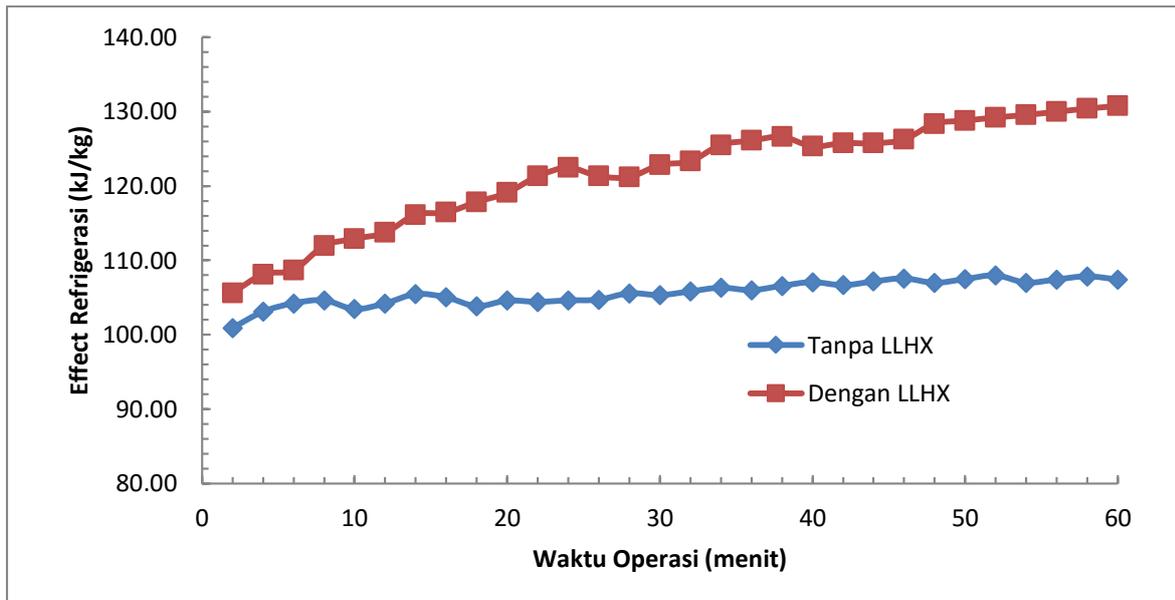
temperature evaporasi sebagai pengaruh dari adanya penambahan LLHX yang mengakibatkan menurunnya temperature keluar kondensor sebelum masuk katup ekspansi dan berakibat pula pada menurunnya temperature evaporasi.



Gambar 9 Pengaruh Waktu terhadap Kalor yang dibuang di Kondensor

Penambahan LLHX berpengaruh pula terhadap besarnya kalor yang dibuang di kondensor. Dari gambar 9 terlihat bahwa mesin tanpa adanya LLHX maka kalor yang dibuang berkisar antara 138.81 kJ/kg hingga 145.68 kJ/kg sedangkan

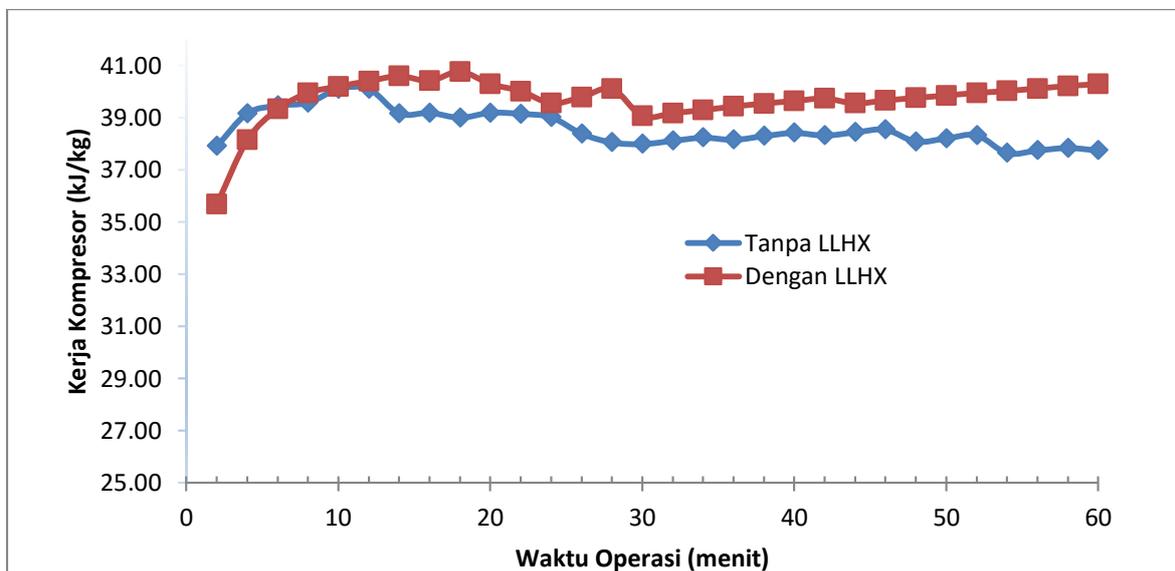
dengan LLHX berkisar antara 141.313 kJ/kg hingga 171.013 kJ/kg selama 60 menit mesin beroperasi.



Gambar 10 Pengaruh waktu Operasi terhadap Efek Refrigerasi

Penambahan LLHX berpengaruh terhadap penambahan efek refrigerasi, semakin lama mesin beroperasi maka semakin turun temperature evaporasi dan meningkatkan efek refrigerasi. efek refrigerasi yang dihasilkan tanpa

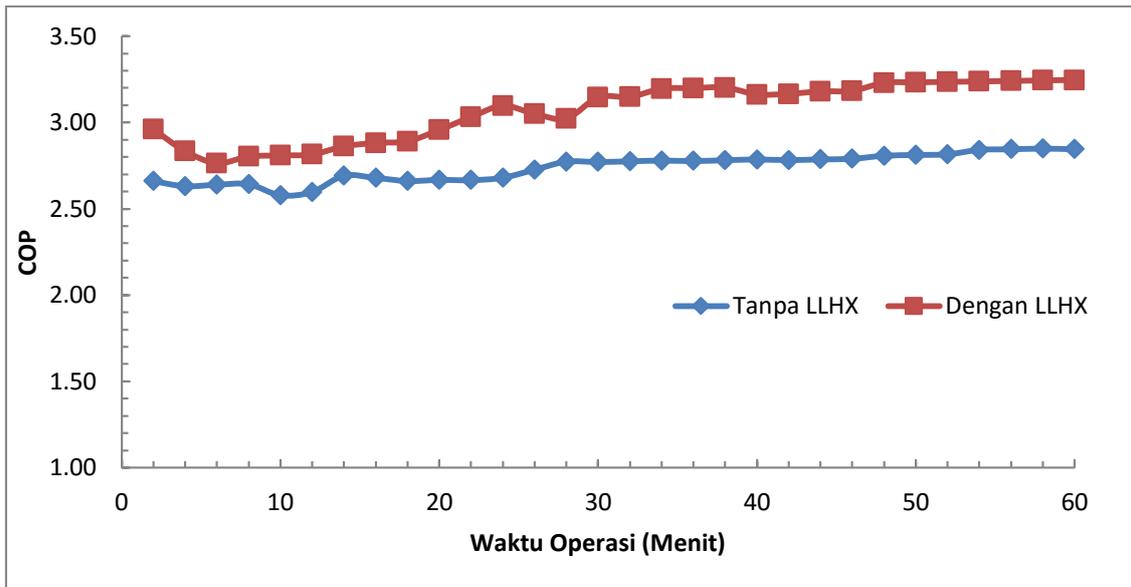
menggunakan LLHX hanya berkisar 100.89 kJ/kg hingga 107.96 kJ/kg sedangkan dengan LLHX maka efek refrigerasi meningkat 105.635 kJ/kg hingga 130.734 kJ/kg.



Gambar 11 Pengaruh Waktu Operasi terhadap Kerja Kompresor

Penambahan LLHX berengaruh terhadap penambahan kerja kompresor dari gambar diatas terlihat bahwa penambahan LLHX tidak signifikan kerja kompresor terbesar mencapai

40.1 kJ/kg sedangkan dengan adanya penambahan LLHX mencapai 40.752 kJ/kg.



Gambar 12 Pengaruh Waktu Operasi terhadap COP

Penambahan LLHX berpengaruh terhadap peningkatan COP. Hal ini senada dengan hasil penelitian Zubair, Qureshi (2012), Vijayan & Srinivasan (2009), Bolaji, dkk (2010), Potter, dkk (2012) Sukamto dkk (2014) bahwa penambahan LLHX meningkatkan COP. Dari gambar 12 diatas, tanpa menggunakan LLHX COP berkisar hanya 2.58 hingga 2.85 selama mesin beroperasi selama 60 menit. Sedangkan dengan adanya penambahan LLHX COP meningkat berkisar antara 2.76 hingga 3.25 peningkatan COP dipengaruhi oleh peningkatan efek refrigerasi dan kerja kompresor sebagai akibat adanya penambahan LLHX.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik kesimpulan :

1. Penambahan LLHX berpengaruh terhadap penurunan temperature keluar kondensor dan kenaikan temperature keluar kompresor. Temperature keluar kompresor stabil di 28°C dengan adanya LLHX sedangkan tanpa LLHX temperature keluar kompresor semakin turun hingga mencapai 16°C pada pengoperasian mesin 60 menit
2. Temperature evaporasi dengan adanya LLHX mencapai -17.4°C lebih rendah dari pada tanpa LLHX hanya -15.2°C pada pengoperasian mesin 60 menit

3. Penambahan LLHX berpengaruh pula terhadap kenaikan COP sebagai akibat kenaikan efek refrigerasi dengan COP yang paling optimum 3.25 lebih tinggi dibandingkan tanpa LLHX yang hanya 2.85.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bolaji B.O., Performance of A R22 split-air-conditioner when retrofitted with ozone friendly refrigerant (R410A and R417a), *Journal of Energi in Southern Africa*, Vol 23 No 3, pp 16-23, 2012
- [2] Bolaji B.O., Akintunde M.A., Falade T.O, Theoretical Onvestigation of the Performance of Some Environment-Friendly Refrigerants ins Sub-cooling Heat Exchanger Refrigeration Sistem , *Journal of Science and Technology*, Vol 30, No. 3, pp.101-108, 2010
- [3] Bolaji B.O., Zhongjie H, Thermodynamic analysis of hydrocarbon refrigerants in a sub-cooling refrigeration sistem , *Journal of Engineering Research*, Vol 1 No 1 June 2013, pp. 317-333, 2013
- [4] Poltker G., Hrnjak P.S, Effect of Condenser Subcooling of the Performance of Vapor Compression Sistem s:Experimental and Numerical Investigation, *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, July 16-19, 2012, Purdue e-Pubs, 2012.

- [5] Paharia A.K., Gupta R.C., Effect of Sub Cooling and Superheating on Vapor Compression Refrigerator Sistem s Using R-22 Alternative Refrigerants, International Journal od Emerging Trnes in Engineering and Development, Issue 3, Vol 1 Januari 2013, ISSN : 2249-6149, 2013
- [6] Arijanto dan Ojo Kurdi, 2010, Pengujian Refrijeran Hycool HCR R22 pada AC Splite sebagai Pengganti Freon R22, Rotasi, Volume 2, April 2010, hal 42-46
- [7] XU L., HRNJAK P., Potential for Improving Efficiency by Controlling Subcooling in Residential A/C System, International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue, July 14-17, 2014, Paper 2387, 2014
- [8] Thangavel P., Somasundaram, Effects Ovaporator loas on vapor compression refrigeration sistem using eco friendly hydrocarbon refrigerants with sub cooling, Journal of Scientific and Industrial Research, Vol 72, November 2013, pp. 695-702, 2013
- [9] Thangavel P., Somasundaram P., Simulation Analysis of Compression Refrigeration Cycle with Different Refrigerants, International Journal of Engineering and Innovative Technology, Volume 2, Issue 10, April 2013, ISSN : 2277-3754 pp. 127-131, 2013
- [10] Nuriyadi M, Sumeru . The Effect Of Liquid Suction Heat Exchanger Sub-cooler on Performance Of A freezer Using R404A as Working Fluid. Jurnal Teknologi. 76:11, 2015