

PENGARUH PENAMBAHAN *HEAT EXCHANGER* TERHADAP PERFORMA *COLD STORAGE* SETELAH *RETROFIT REFRIGERAN R410A*

Eky Novianarenti¹⁾, Projek Priyonggo²⁾, George Endri K³⁾, Imaniah Sriwijayasih⁴⁾,
Rikky Leonard⁵⁾, Arrad Ghani Safitra⁶⁾

^{1,2,3}Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

^{4,5}Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁶Jurusan Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

E-mail: ekynovianarenti@ppns.ac.id

Abstract

Cold Storage is a machine used to store a product at a certain temperature that can maintain the product so that it does not rot quickly. In the fluid machinery laboratory of the Surabaya State Polytechnic of Shipping, there is a Cold Storage that uses R410a as retrofitted refrigerant from R22. This test uses a cooling load in the form of water and vegetables. This system is designed to ensure an efficient cooling process by maintaining the temperature of the cooling room at an optimal level. The cooling system can work quite well and according to plan and the temperature of the cooling room can reach 4° C. The compressor calculation produces a performance of 0.054398 kW and decreased 2.5% than without LSHX. While the q_{cond} increases to 0.34314 kW. It can be seen that the COP with a liquid suction heat exchanger with load increases from 5.404 without LSHX to 5.501 with LSHX.

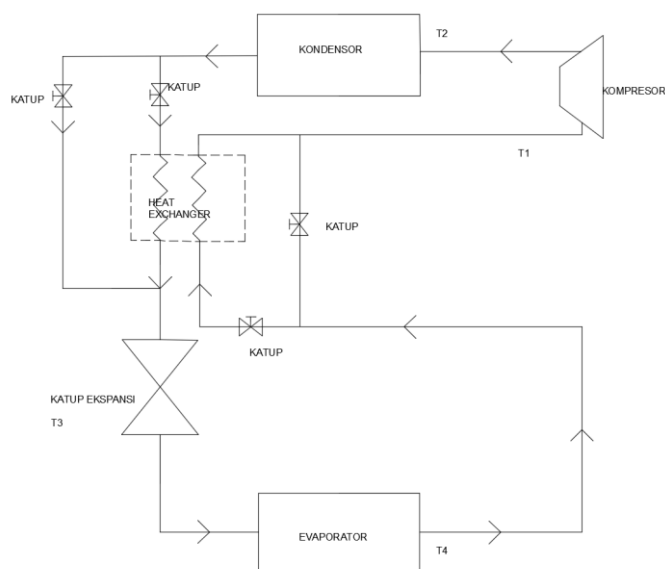
Keywords: *cold storage, refrigerant R410a, liquid suction heat exchanger(LSHX), COP*

PENDAHULUAN

Laboratorium Permesinan Fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) merupakan suatu sarana bagi Dosen dan Mahasiswa untuk mempelajari tentang fluida dalam berbagai keadaan. Dalam Laboratorium Permesinan Fluida dilengkapi berbagai sarana untuk menunjang penelitian dan pembelajaran salah satu diantaranya adalah mesin pendingin (*cold storage*). Beberapa perlengkapan pembelajaran refrigerasi di Laboratorium Permesinan Fluida PPNS yang sudah ada adalah *thermal trouble shooting (TTS)*, *heat pump*, *Chilled Water & AHU System Test rig* dan TAAC.

Heat Exchanger (HX) merupakan inti dari sistem energi, lemari es, dan pompa kalor. Kinerja mereka menentukan kinerja sistem termal (Tuyen, et. all, 2020) sehubungan dengan biaya modal dan biaya operasi. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi perpindahan panas dan pengurangan kehilangan tekanan merupakan perhatian konstan dalam studi rekayasa termal. Langkah-langkah untuk meningkatkan perpindahan panas meliputi penambahan twisted tape turbulator HX (Salem, 2020)

porous baffle (Mohammad et. all, 2020) saluran untuk menciptakan pencampuran antara aliran primer dan sekunder, menggunakan *ground heat exchanger* (Abrari, A. R et al, 2023). Pada proses liquefaction misalnya, jenis HX yang sesuai pada LNG proses adalah pipa ganda (Novianarenti et al, 2024), untuk menggunakan permukaan yang diperluas untuk meningkatkan perpindahan panas dan massa dalam kumparan pendingin digunakan HX jenis helical (Safitra, A. G. et al, 2023). Metode-metode di atas dilakukan dengan penukar panas dua fluida (Hermes, C. J. 2019).

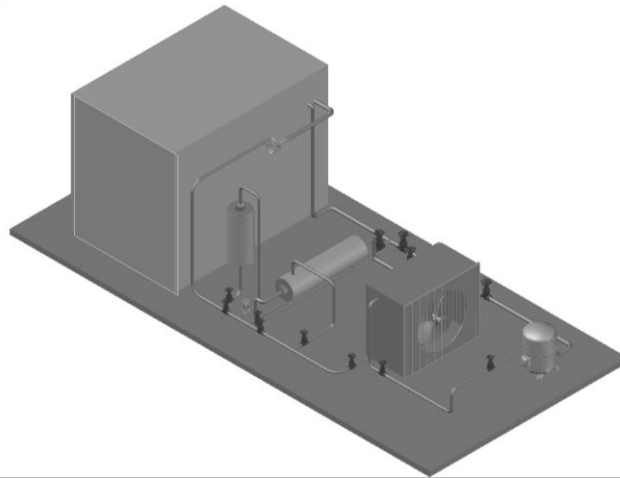


Gambar 1. Desain *Cold Storage* menggunakan LSHX

Pemanfaatan retrofit atau penggantian refrigeran juga terhitung menguntungkan (Nasution, D. M., et al, 2019). dan menawarkan keandalan yang lebih baik dibanding sistem pada umumnya, disini peran *Liquid Suction Heat Exchanger* (LSHX) juga dapat menjadi solusi untuk meningkatkan performa efek refrigerasi serta coefficient of performance sistem (Mahmood, R. A. 2020; Homon, P et al, 2022). Untuk itu, dalam rangka meningkatkan efek refrigerasi digunakan teknologi *liquid line-suction line subcooling* dengan R410a. Sehingga dengan adanya penambahan *subcooling*, maka diharapkan temperatur evaporasi dapat mencapai temperatur lebih rendah lagi.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di laboratorium fluida Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan pengamatan yang dilakukan secara langsung terhadap kerusakan mesin pendingin. Objek dan fokus penelitian pada 1 bulan pertama dilakukan dengan melakukan observasi untuk mendapatkan data teknis yaitu dengan cara melakukan studi dan diskusi teknis dengan pembimbing dan teknisi laboratorium Fluida serta mengumpulkan data-data yang diperlukan pada penelitian.

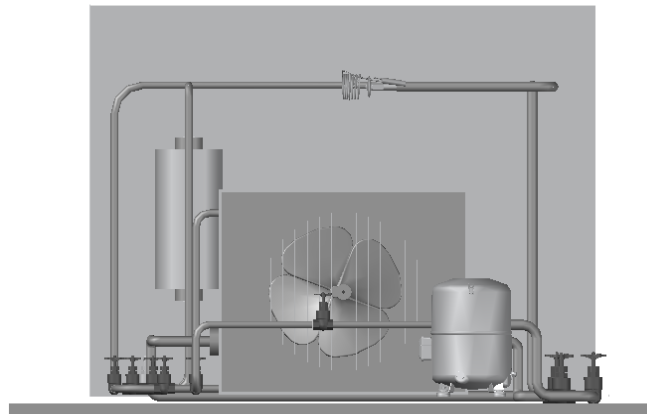


Gambar 2. *Cold Storage* Tampak Isometri

Tahap selanjutnya adalah mendesain mesin pendingin dengan tambahan *liquid suction heat exchanger* seperti pada Gambar 1 sampai 3 untuk posisi isometri, tampak samping dan tampak depan. Untuk melakukan percobaan, model skala lab dari *cold storage* menggunakan LSHX telah dirancang dan dipasang. Komponen utamanya adalah kompresor kedap udara, kondensor dengan kipas, LSHX, tabung kapiler, dan evaporator dengan kipas. Trainer TAAC dengan spesifikasi seperti tertera pada tabel 1.

Tabel 1
Spesifikasi peralatan

Produk	AC-0909GLWI/K
Daya Listrik	710 watt
Tegangan	220V
Frekuensi	50 Hz
Berat	8 kg
Daya PK	1 PK
Kapasitas Pendinginan	9000 BTU/h
Tipe Refrigerant	R-410a/470 g
Arus maks	5,5 A



Gambar 3. Cold Storage Tampak Depan

Tabel 2
Daftar Kebutuhan Alat

No	Daftar Kebutuhan Alat	Ukuran	Jumlah
1	Refrigerant	R410	3 kg
2	Pipa Tembaga	½ inch	5 m
3	Pipa Tembaga	3/8 inch	7 m
4	Pembungkus Pipa	½ inch	5 m
5	Pembungkus Pipa	3/8 inch	7 m
6	Valve	½ inch	3 Pcs
7	Valve	3/8 inch	5 Pcs
8	Fitting (Elbow)	½ inch	2 Pcs
9	Fitting (Tee)	3/8 inch	4 Pcs
10	Fitting(Reducer)	½ ke 3/8	4 pcs
11	Thermometer Digital	-	4 Pcs
12	Kondensor dan Kompresor	AC-0909GLWI/K	@1 pcs

Perhitungan panjang pipa kapiler ini dilakukan untuk menentukan panjang ruas pipa kapiler untuk menurunkan temperatur refrigeran hingga mencapai temperatur yang diinginkan. Pada perhitungan ini dilakukan menggunakan excel pada tabel dari perhitungan berikut. Refrigeran yang digunakan adalah R410a dengan temperatur 40°C akan diturunkan menjadi 5°C dengan laju aliran massa (\dot{m}) = (w) = 0,0012114 kg/s dan diameter dalam pipa (ID) = 0.6604 mm.

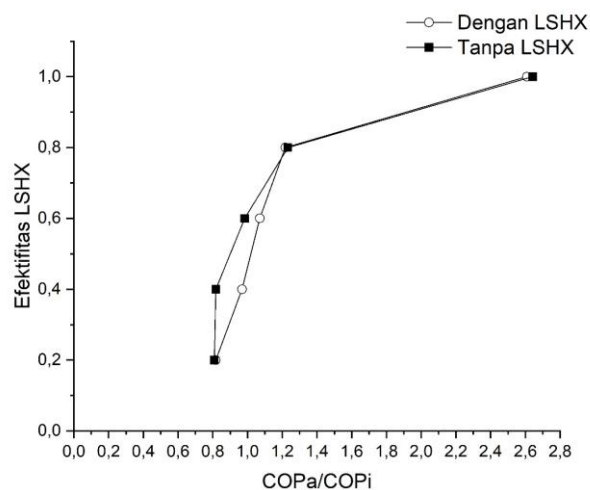
Tabel 3
Perhitungan pipa kapiler

No	Properties	Unit	Evaporator	Kondensor
1	T	°C	5	40
2	P	Mpa	1.085	2.41
3	H	Kj/kg	423,9	267,1

Langkah percobaan untuk pengambilan data dimulai dengan pemasangan *manifold* pada *suction* dan *discharge* kompresor (posisi kedua *valve* tertutup) kemudian menyalakan pompa vakum (pastikan semua *valve* pada sistem terbuka). Setelah menyalakan pompa vakum, buka *valve* yang terhubung dengan *manifold* dan tunggu beberapa menit sampai stabil. Amati tekanan pada *manifold* hingga -30 psi lalu tutup *manifold* (apabila naik dari -30 psi terjadi kebocoran). Matikan pompa *vacuum* lalu lepas semua *manifold*. Pasang *manifold* pada *suction* dan tabung, buka perlahan *valve* pada tabung dan pada *suction* sistem pendingin ketika pengisian refrigeran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

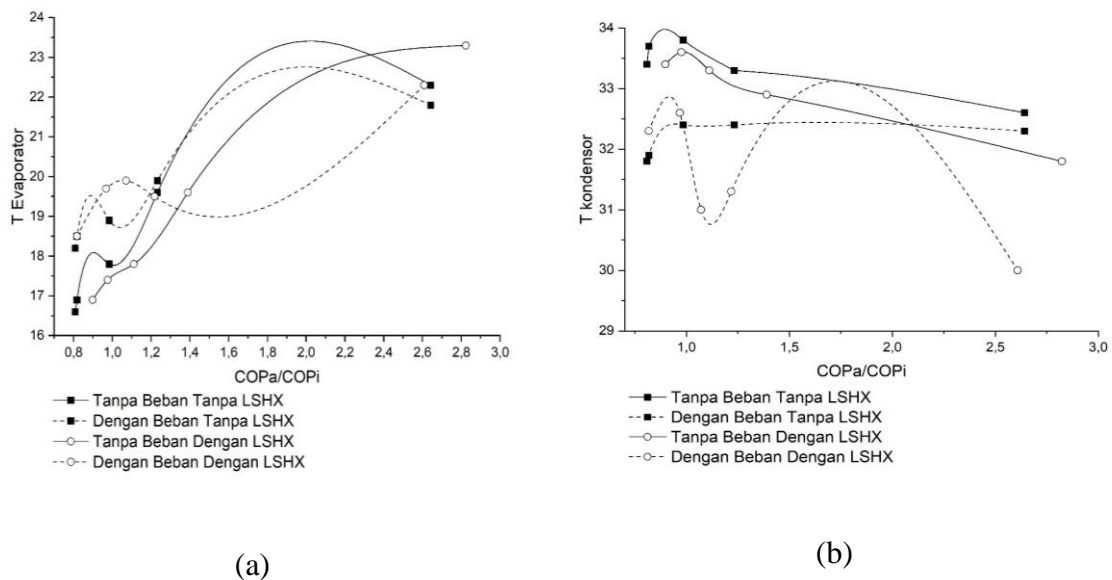
Untuk setiap kondisi operasi, COP'/COP bertambah secara linear pada peningkatan parameter effectiveness (Gambar 4). Untuk fluida yang dicirikan oleh nilai lebih besar dari 0,2, penggunaan SLHX menguntungkan untuk semua kondisi operasi.



Gambar 4. Efektifitas LSHX vs COP'/COP

Jika suhu penguapan menurun, nilai batas *specific heat vapour pressure*, yang sesuai dengan penggunaan SLHX yang efektif, penurunan mungkin terjadi. Kontrol ini

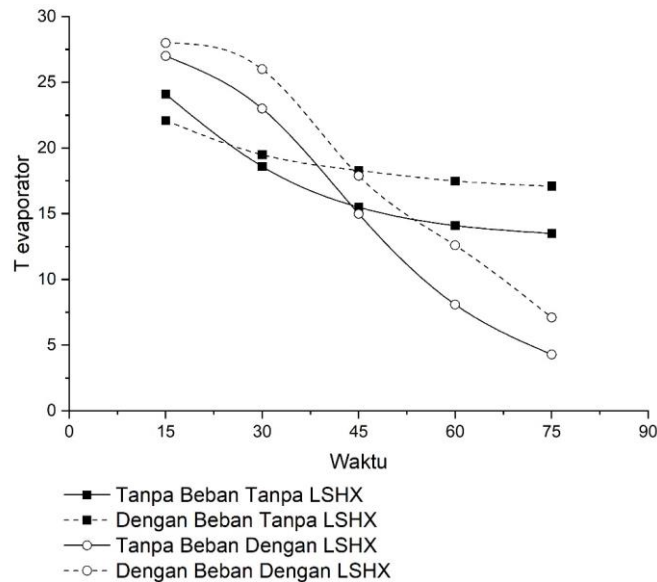
dapat dikembangkan lebih mudah dengan pendekatan grafis. Gambar yang mudah digunakan dapat dibuat untuk melanjutkan pertimbangan yang telah disebutkan di atas. Gambar 5. menyajikan suhu penguapan pada sumbu absis (*x axis*) dan suhu pemadatan kondensasi pada sumbu ordinat (*y axis*): setiap fluida diidentifikasi oleh garis yang membagi bagan menjadi dua area yang menunjukkan apakah COP meningkat atau menurun dengan menggunakan SLHX. Kondisi tersebut menunjukkan peningkatan COP jika menggunakan SLHX dibandingkan tanpa SLHX. Percobaan dilakukan dengan beban air mineral volume 1.5 liter.



Gambar 5. Grafik (a) T_{evap} terhadap COP'/COP dan (b) T_{kond} terhadap COP'/COP

Dengan menggunakan pendekatan yang sama seperti untuk COP, dimungkinkan untuk menganalisis pengaruh SLHX pada kapasitas volumetrik sistem. Lebih rinci, dengan asumsi, seperti yang biasa terjadi, laju perpindahan volumetrik kompresor tetap, pemanasan berlebih pada gas hisap kompresor dan penurunan densitasnya yang diakibatkannya menyebabkan penurunan aliran massa refrigeran yang mengalir di sistem. Lebih jauh, keberadaan SLHX menghasilkan efek yang berlawanan pada kapasitas volumetrik pendinginan. Seperti yang diamati sebelumnya, efek pendinginan versus waktu menurun (Gambar 6) karena peningkatan perbedaan entalpi di seluruh evaporator; namun, laju aliran massa menurun karena densitas hisap yang lebih rendah.

Juga untuk kapasitas volumetrik pendinginan, keuntungan yang mungkin dari penerapan SLHX.



Gambar 6. Grafik Temperatur pendinginan vs Waktu

Hasil yang diperoleh telah dilakukan dengan asumsi efektifitas maksimum untuk SLHX. Efektifitas aktual selalu lebih rendah dari 1 dan akibatnya baik variasi COP'/COP maupun q_{ev} berkurang. Harus digaris bawahi bahwa analisis yang dilakukan untuk efektifitas ke satuan penukar panas, bahwa jelas jika efektifitas akan menurun jika pemakaian terus dan melebihi jam operasional. Hal ini dapat diamati bahwa fluida yang menghadirkan keuntungan menggunakan SLHX untuk semua kondisi mempertahankan perilaku yang sama juga memvariasikan efektifitas dalam kisaran 0–1.

SIMPULAN

Investigasi eksperimental terhadap kinerja *cold storage* yang diretrofit menggunakan R410a yang dipasang di laboratorium Fluida, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dilengkapi dengan penukar kalor hisap cair (LSHX). Sistem pendingin dapat bekerja dengan cukup baik dan sesuai rencana serta suhu ruang pendingin dapat mencapai 4°C. Perhitungan kompresor menghasilkan kinerja sebesar 0,054398 kW dan menurun 2,5% dibandingkan tanpa LSHX. Sedangkan q_{cond} meningkat menjadi 0,34314

kW. Dapat dilihat bahwa COP dengan penukar kalor hisap cair dengan beban meningkat dari 5,404 tanpa LSHX menjadi 5,501 dengan LSHX..

DAFTAR PUSTAKA

- Abrari, A. R., Ariwibowo, T. H., Safitra, A. G., & Nasiroh, Z. (2023, August). Preliminary Study of Helical Discrete Double-Inclined Ribs Tube with Various Backfill Materials on Horizontal Ground Heat Exchanger Performance. In *2023 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 114-119). IEEE.
- Hermes, C. J. (2019). Heat transfer and pressure drop trade-offs in liquid-to-suction heat exchangers. *International Journal of Refrigeration*, *104*, 496-500.
- Homon, P., Chantawong, P., & Khedari, J. (2022). Experimental Investigation of Using Liquid Suction Heat Exchanger with Condensed Cold-Water on the Performance of Air Conditioning System. *International Journal of Heat & Technology*, *40*(2).
- Nasution, D. M., Idris, M., & Pambudi, N. A. (2019). Room air conditioning performance using liquid-suction heat exchanger retrofitted with R290. *Case Studies in Thermal Engineering*, *13*, 100350.
- Novianarenti, E., Ningsih, E., & Rahman, N. A. (2024). Calculation Study of Double Pipe Type Heat Exchanger in LNG Plant Pre-Design with Capacity 250 tons/hour. *Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation*, *4*(1), 27-34.
- Mahmood, R. A. (2020). Case study of liquid suction heat exchanger in a mechanical refrigeration system using alternative refrigerants. *International Journal of Engineering and Technology (Uae)*, *9*(3), 644-649.
- Mohammadi, M. H., Abbasi, H. R., Yavarinasab, A., & Pourrahmani, H. (2020). Thermal optimization of shell and tube heat exchanger using porous baffles. *Applied Thermal Engineering*, *170*, 115005.
- Safitra, A. G., & Ariwibowo, T. H. (2023, August). Improving The Performance of Cascade Vapor Refrigeration System by Using Al₂O₃ Nanoparticles. In *2023 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 94-100). IEEE.
- Salem, M. R. (2020). Performance enhancement of a vapor compression refrigeration system using R134a/MWCNT-oil mixture and liquid-suction heat exchanger equipped with twisted tape turbulator. *International Journal of Refrigeration*, *120*, 357-369.
- Tuyen, V., Van Hap, N., & Phu, N. M. (2020). Thermal-hydraulic characteristics and optimization of a liquid-to-suction triple-tube heat exchanger. *Case Studies in Thermal Engineering*, *19*, 100635.