

Efektivitas *Liquid Suction Heat Exchanger (LSHX)* pada Mesin Refrigerasi dengan R404A pada Berbagai Tingkat Subcooling

Andriyanto Setyawan¹

¹ Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung
Korespondensi : andriyanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Penyuar kalor jenis *liquid suction heat exchanger (LSHX)* telah digunakan pada berbagai mesin tata udara dan refrigerasi dengan tujuan untuk meningkatkan kapasitas pendinginan dan koefisien kinerja. Pada penelitian ini dilakukan pengujian tentang pengaruh penggunaan penyuar kalor sisi liquid line dengan suction line (LSHX) pada mesin refrigerasi dengan refrigeran R404A. Sasaran utama pengujian adalah mengetahui pengaruh temperatur evaporasi terhadap efektivitas penyuar kalor. Pengujian dilakukan dalam beberapa nilai temperatur evaporasi. Pengubahan temperatur evaporasi dilakukan dengan cara mengubah-ubah bukaan katup kontrol untuk menghasilkan drop tekanan yang berbeda-beda, sehingga menghasilkan tekanan evaporasi 30 sampai 50 psig atau temperatur evaporasi antara -24°C sampai dengan -10°C. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh penurunan temperatur refrigeran pada liquid line berkisar antara 4°C sampai 8°C. Penurunan temperatur ini meningkatkan kapasitas mesin dan COP hingga sekitar 16%. Selanjutnya, efektivitas penyuar kalor berkisar antara 0.22 hingga 0.49. Semakin rendah temperatur evaporasi, semakin besar efektivitas penyuar kalor. Meski demikian, subcooling dan superheating tidak boleh terlalu besar karena akan membahayakan kerja mesin pendingin.

Kata kunci: LSHX, temperature evaporasi, subcooling, COP

ABSTRACT

Liquid-to-suction heat exchanger has been used for air conditioning and refrigeration machines over years. It is aimed to increase the cooling capacity and coefficient of performance. In this research, the influence of LSHX utilization on a refrigerating machine with refrigerant R404a has been tested. The test was focused on the heat exchanger effectiveness under various evaporating temperature. To vary the evaporating temperature, a valve has been installed on the inlet side of thermostatic expansion valve. By varying the openings of this valve, the pressure of suction line could be varied from 30 psi to 50 psi, results in the evaporating temperatures from -24°C to -10°C. With the LSHX, the liquid refrigerant temperature could be lowered by 4°C to 8°C. The reduction of the temperature improves the capacity and coefficient to performance up to 16%. Based on the experimental results, the effectiveness of the LSHX ranges from 0.18 to 0.25. The lower the evaporating temperature gives the higher the effectiveness of the LSHX. However, subcooling and superheating should be limited to a certain value in order to control the compressor within safe operating conditions.

Keyword: LSHX, evaporating temperature, subcooling, COP, R404A

1. PENDAHULUAN

Kinerja dari suatu mesin pendingin yang menggunakan prinsip kompresi uap tergantung pada beberapa faktor, antara lain temperatur dan kelembaban lingkungan, karakteristik beban pendinginan, derajat subcooling dan superheat, karakteristik perpindahan kalor dari kondenser dan evaporator, dan pengaturan temperatur evaporasi [1].

Pada sistem pendingin, beban pendinginan seringkali terkait dengan perencanaan produksi dan permintaan pasar (untuk pendinginan produk makanan dan pendinginan pada industri proses), dan cuaca (panas, hujan). Dengan demikian, seorang teknisi atau insinyur teknik pendingin tidak memiliki kesempatan yang besar untuk melakukan optimisasi beban.

Kondisi lingkungan, yang dinyatakan dengan temperatur dan kelembaban udara lingkungan, merupakan faktor alam yang tidak dapat diubah-ubah. Dengan demikian, faktor ini tidak memberikan banyak kesempatan bagi seorang pekerja dalam bidang refrigerasi dan tata udara untuk melakukan optimisasi.

Derajat subcooling dan superheat dan karakteristik perpindahan kalor dari penyuar kalor pada umumnya tidak dapat diubah-ubah karena biasanya telah ditetapkan oleh pabrik pembuatnya. Dengan demikian, faktor ini pun tidak memberikan keleluasaan kepada seorang teknisi atau insinyur teknik pendingin untuk melakukan optimisasi.

Faktor yang paling memungkinkan dilakukannya optimisasi adalah temperatur evaporasi. Pengaturan temperatur evaporasi dapat dilakukan dengan berbagai cara. Pada mesin pendingin atau tata udara dengan katup ekspansi termostatik (thermostatic expansion valve, TXV), pengaturan temperatur evaporasi dapat dilakukan dengan mengatur kekencangan pegas katup melalui penyetelan ulir yang terdapat di dalamnya. Pada mesin pendingin dengan pipa kapiler, pengaturan dapat dilakukan dengan mengubah-ubah panjang dari pipa kapiler atau mengubah-ubah diameternya.

Penelitian untuk mendapatkan panjang pipa kapiler yang memberikan kapasitas terbesar pada mesin tata udara dengan kapasitas nominal 9000 Btu per jam telah dilakukan. Perhitungan panjang kapiler didasarkan pada penurunan tekanan yang dihasilkannya dan melibatkan perubahan fasa [2,3]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas dan efisiensi kompresor yang terbesar diperoleh pada temperatur evaporasi 5.6°C. Untuk mendapatkan temperatur evaporasi 5.6°C pada mesin tersebut diperlukan pipa kapiler sepanjang 1057 .

Pada sisi yang lain, liquid suction heat exchanger (LSHX) dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja mesin pendingin [4]. Pemanfaatan LSHX lebih banyak ditemui pada mesin refrigerasi dibandingkan dengan mesin tata udara. Melalui simulasi yang dilakukannya, McLinden [5] menyatakan bahwa penggunaan LSHX dapat meningkatkan kinerja mesin akibat kenaikan kalor jenis gas refrigeran. Kajian teoretis untuk mengamati pengaruh penggunaan LSHX pada Refrigeran R 22 dan pengganti alternatifnya telah dilakukan oleh Domasni dan Didion [6]. Penelitian ini dikembangkan dengan melakukan kajian teoretis pada 29 jenis refrigeran [7,8]. Simulasi yang dilakukan oleh Bivens dkk. menyatakan bahwa penggunaan LSHX mampu meningkatkan kinerja mesin refrigerasi sebesar 6% dengan menggunakan refrigeran campuran. Bittle dkk. [9] melakukan eksperimen dengan R152a dan membandingkannya dengan R12. Penelitian ini dikembangkan lagi oleh Bittle dkk. [10] dengan menggunakan refrigeran R507A, R404A, R600, R290, R134a, R407C, R410A, R12, R22, R32, dan R717. Kim dkk. [11] mengamati bahwa mesin refrigerasi dengan R22 hanya dapat sedikit meningkatkan kinerja pada superheat dan subcooling diset pada kisaran 2°C.

Selanjutnya, hasil simulasi menunjukkan bahwa secara umum penggunaan LSHX dapat meningkatkan kinerja suatu mesin refrigerasi pada kebanyakan refrigeran [12]. Namun, hal ini tidak berlaku pada R22, R32, dan R717. Hasil berbeda ditunjukkan oleh simulasi lain yang menyatakan bahwa penggunaan LSHX dapat meningkatkan koefisien kinerja mesin (coefficient of performance, COP) sampai 2% pada temperatur lingkungan yang tinggi [13]. Eksperimen dengan AC mobil menggunakan refrigeran R134a menyatakan bahwa penggunaan LSHX dapat meningkatkan kapasitas dan koefisien kinerja AC mobil [14]. Dhanakitt [15] menjelaskan bahwa penggunaan LSHX dapat menurunkan konsumsi energi AC split kapasitas 3.5 kW dengan payback period 2.74 tahun. Penelitian Dhanakit dilakukan dengan pengaturan temperatur ruangan pada satu harga saja, yaitu 26°C. Penggunaan LSHX pada peralatan pendingin skala rumah tangga juga telah diteliti [16] dengan fokus tinjauan pada desain LSHX yang optimal. Penggunaan LSHX pada peralatan refrigerasi kompresi dengan R22, R134a, dan R407 telah diteliti [17] dengan fokus penelitian pada pengaruh laju aliran massa terhadap efisiensi mesin refrigerasi. Tambovtsev dan Quack [18] melalui eksperimennya dengan R507a dan amonia menegaskan bahwa pada temperatur kondensasi yang tinggi penggunaan LSHX dapat meningkatkan kinerja mesin refrigerasi. Penggunaan LSHX pada mesin refrigerasi dengan 19 jenis refrigeran juga telah disimulasikan [19]. Fokus tinjauan pada simulasi ini lebih ditujukan pada pengaruh sifat termodinamikan refrigeran terhadap efektifitas penukar kalor.

Paper ini melaporkan hasil penelitian penggunaan LSHX pada mesin refrigerasi dengan R404A. Pengaruh penggunaan LSHX pada berbagai temperatur evaporasi terhadap kinerja mesin akan dibahas. Efektivitas LSHX pada berbagai temperatur evaporasi juga didiskusikan.

2. METODE PENELITIAN

Pengujian dilakukan di Laboratorium Refrigerasi dan Tata Udar, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung. LSHX dipasang di bagian dalam ruang walk-in cooler dengan harapan penambahan superheat dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas pendinginan guna mendinginkan ruangan.

2.1. Pengaturan temperatur evaporasi

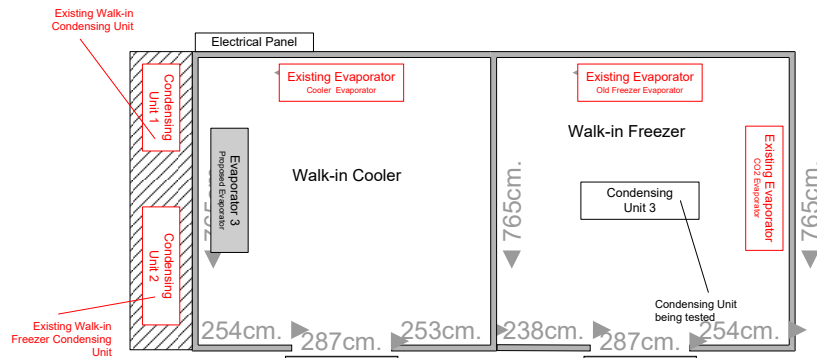
Peralatan yang diuji adalah mesin refrigerasi dengan kapasitas kompresor nominal 3.0 hp. Mesin refrigerasi standar hanya menggunakan satu buah alat ekspansi yang sudah dirancang oleh pabrik pembuatnya. Pada penelitian ini katup ekspansi yang digunakan akan dimodifikasi sehingga dapat memberikan temperatur evaporasi yang berbeda-beda. Temperatur evaporasi yang dirancang/diinginkan adalah -24°C, -22°C, -20°C, -18°C, -16°C, -12°C, dan -10°C.

Temperatur lingkungan rancangan yang digunakan pada penelitian ini adalah 26°C dan temperatur kondensasi 40°C, atau setara dengan tekanan kondensasi 15.335 Bar absolut (225.27 psia). Pengaturan

temperatur evaporasi dapat dilakukan dengan penambahan katup tambahan atau menyatel kekencangan pegas pada katup ekspansi.

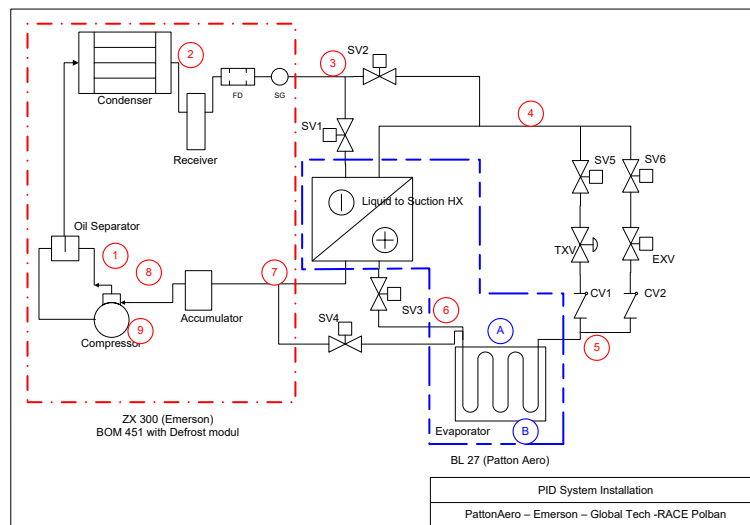
2.2. Prosedur Pengujian

Skema pengujian diberikan pada Gambar 1 dan 2, di mana mesin dapat diuji dengan LSHX maupun tanpa LSHX. Untuk mendapatkan temperatur kondensasi yang konstan, maka *condensing unit* diletakkan di dalam ruangan *walk-in freezer* yang temperatur ruangnya dipertahankan pada 25°C.



Gambar 1. Rancangan untuk ruang pengujian mesin refrigerasi.

Diagram pemipaan untuk pengujian diberikan pada Gambar 2. Untuk menguji kinerja sisem refrigerasi tanpa LSHX, katup solenoid SV1 dan SV3 ditutup. Saat katup SV 1 ditutup, refrigeran keluaran kondenser akan melewati katup solenoid SV2 dan selanjutnya akan menuju evaporator setelah melewati SV5 dan katup ekspansi (TXV). Karena SV3 ditutup, setelah keluar dari evaporator refrigeran akan melewati katup solenoid SV4 menuju kompresor lewat suction accumulator untuk menghindari adanya sisa refrigeran cair yang kemungkinan masih ada.



Gambar 2. Rancangan diagram pemipaan untuk pengujian mesin refrigerasi dengan LSHX.

2.3. Pengujian tanpa LSHX

Pengujian dilakukan dengan berbagai temperatur evaporasi yang dirancang pada -24°C, -22°C, -20°C, -18°C, -16°C, -12°C, dan -10°C sesuai dengan setting yang dipilih. Pada pengujian ini, kinerja mesin refrigerasi dianalisis berdasarkan hasil pengukuran temperatur isap, temperatur buang, temperatur kondensasi, temperatur refrigeran cair/*liquid line*, dan temperatur refrigeran masukan evaporator, ditambah dengan pengukuran tekanan isap dan buang. Hasil-hasil tadi digunakan untuk menghitung efek pendinginan, kerja kompresor spesifik, dan COP. Dari hasil ini selanjutnya dapat dihitung kapasitas evaporator, kerja kompresor, dan rasio efisiensi energi (EER).

2.4. Pengujian dengan LSHX

Pada pengujian ini, kondisi refrigeran masukan dan keluaran LSHX, baik fasa cair maupun fasa gas diukur. Temperatur refrigeran uap masukan dan keluaran LSHX (T7 dan T8) diukur untuk mengetahui kenaikan derajat superheating pada refrigeran yang masuk ke kompresor. Pengukuran tekanan pada posisi yang sama (P7 dan P8) dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan tekanan refrigeran uap setelah melewati LSHX. Temperatur refrigeran cair masukan dan keluaran LSHX (T9 dan T10) diukur untuk mengetahui kenaikan derajat subcooling pada refrigeran cair yang masuk ke alat ekspansi. Pengukuran tekanan pada posisi yang sama (P9 dan P10) dilakukan untuk mengetahui besarnya penurunan tekanan refrigeran cair setelah melewati LSHX.

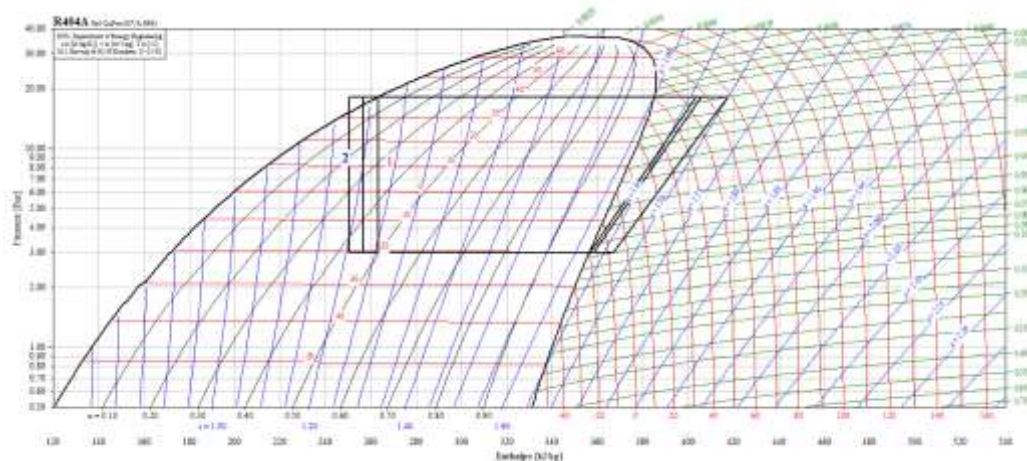
Pengujian dengan LSHX dilakukan dengan menutup katup SV2 dan SV4. Pada saat SV2 tertutup, refrigeran keluaran kondenser akan mengalir lewat SV1 ke LSHX dan selanjutnya menuju SV5 dan katup ekspansi untuk masuk ke evaporator. Dari evaporator, refrigeran akan mengalir lewat SV3 (karena SV4 tertutup) ke LSHX. Selanjutnya, refrigeran akan masuk ke kompresor lewat suction accumulator.

3. HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini membahas kinerja mesin pada berbagai temperatur evaporasi. Pengaruh temperatur evaporasi terhadap efektivitas LSHX juga dibahas.

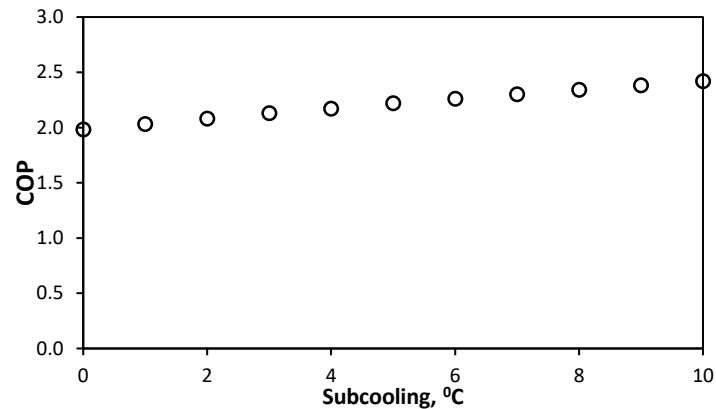
3.1. Kinerja Mesin Pendingin

Pada pengujian yang dilakukan, penggunaan LSHX dapat memberikan peningkatan kinerja pada mesin pendingin. Sebagai gambaran, saat bekerja dengan tekanan evaporasi 30 psig (atau setara dengan 45 psia atau 3 bar absolut), mesin pendingin akan memiliki koefisien kinerja 1.98 dengan kapasitas pendinginan sebesar 4.6 kW (lihat Gambar 3).

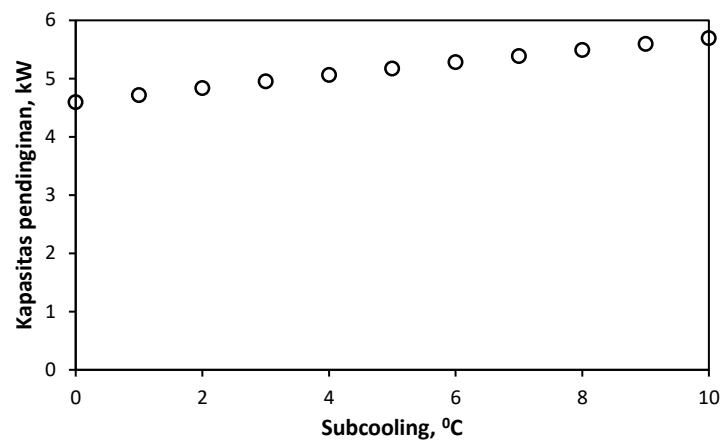


Gambar 3. Gambaran siklus pendinginan dengan pada mesin pendingin dengan R404a.

Saat LSHX digunakan, COP dapat meningkat hingga 2.42 saat penambahan subcooling mencapai 10°C. Kurva COP terhadap derajat subcooling diberikan pada Gambar 4. Kenaikan ini diikuti dengan penambahan kapasitas hingga 5.39 kW. Namun, hal ini harus dibayar dengan kenaikan kerja kompresor dari 2.319 kW menjadi 2.343 kW. Pada saat subcooling ditingkatkan hingga 10°C, kapasitas akan naik menjadi 5.698 kW. Kurva kapasitas pendinginan terhadap derajat subcooling diberikan pada Gambar 5.

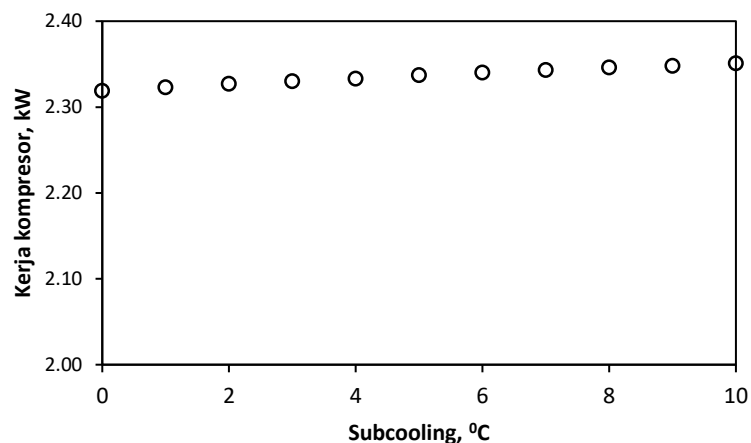


Gambar 4. Kurva COP vs subcooling.



Gambar 5. Kurva kapasitas pendinginan vs subcooling..

Jika penambahan subcooling diset sebesar 2°C, maka COP mesin akan menjadi 2.13 dan kapasitas pendinginan akan naik menjadi 4.951 kW dan kerja kompresor naik menjadi 2.323 kW. Demikian seterusnya, jika subcooling ditambah hingga 10°C, maka kerja kompresor akan menjadi 2.351 kW. Kurva kerja kompresor terhadap derajat subcooling diberikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kurva kerja kompresor vs subcooling.

Dari Gambar 4 sampai 6, dapat dihitung kenaikan COP, kapasitas pendinginan, dan kerja kompresor per satu derajat kenaikan subcooling. Setiap satu derajat penambahan subcooling akan menambah 2% COP dari mesin pendingin. Hal ini dapat dilihat dari gradien kenaikan COP terhadap derajat subcooling sebesar 0.022. Setiap satu derajat penambahan subcooling akan menambah 2.3% kapasitas mesin pendingin. Hal ini

dapat dilihat dari gradien kenaikan kapasitas pendinginan terhadap derajat subcooling. Selanjutnya, setiap satu derajat penambahan subcooling akan menambah 0.1% kerja kompresor. Hal ini dapat dilihat dari gradien kenaikan kerja kompresor terhadap derajat. Dengan demikian, kenaikan kerja kompresor relatif kecil dibandingkan dengan kenaikan kapasitas pendinginan. Jadi, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan LSHX memberikan keuntungan dengan menambah kapasitas pendinginan yang cukup besar hanya dengan menambah sedikit kerja kompresor. Dengan kata lain, penggunaan LSHX dapat menaikkan efisiensi energi mesin pendingin.

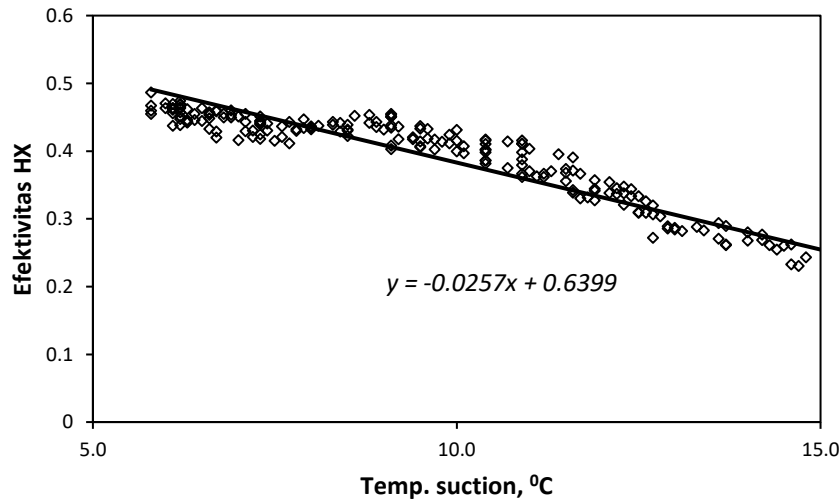
Meskipun penambahan derajat subcooling dinilai mampu untuk menaikkan COP dan kapasitas mesin, namun harus diperhatikan bahwa hal ini juga akan meningkatkan temperatur discharge sehingga kompresor dapat mengalami panas berlebih (*overheat*). Jika diinginkan subcooling yang tinggi, maka *superheating* yang dihasilkan akan lebih tinggi lagi. Untuk R404a, secara umum berlaku setiap penurunan 1°C pada refrigeran cair akan menaikkan *superheat* sebesar 1.8°C. Jika subcooling diinginkan tinggi, misal 10°C, maka dihasilkan kenaikan *superheat* sebesar 18°C. Kenaikan *superheat* sebesar ini akan menyebabkan posisi refrigeran pada *suction line* akan bergeser ke kanan. Akibatnya, kerja kompresor akan naik, disertai dengan naiknya temperatur discharge. Jika tidak dikendalikan, ini dapat menyebabkan terjadinya pemanasan berlebih pada kompresor. Sebagai gambaran, temperatur discharge pada penelitian ini dapat mencapai di atas 100°C. Ini tentu akan memberatkan kerja kompresor.

3.2. Efisiensi LSHX

Untuk mengetahui korelasi antara efektivitas penukar kalor dengan temperatur refrigeran pada *suction line*, data yang diplot pada kurva Gambar 7 dicari persamaan linearnya. Hasilnya, hubungan antara efektivitas dan temperatur *suction* dapat dinyatakan dengan

$$y = -0.0257x + 0.6399$$

Dengan hasil gradien yang negatif, maka dapat dibuktikan bahwa semakin rendah temperatur saluran *suction* maka semakin besar efektivitas penukar kalor. Meski demikian, variasi antara efektivitas dengan temperatur *suction* tidaklah terlalu besar mengingat gradiennya cukup kecil, yakni -0.025.



Gambar 7. Kurva efektivitas penukar kalor vs temperatur suction.

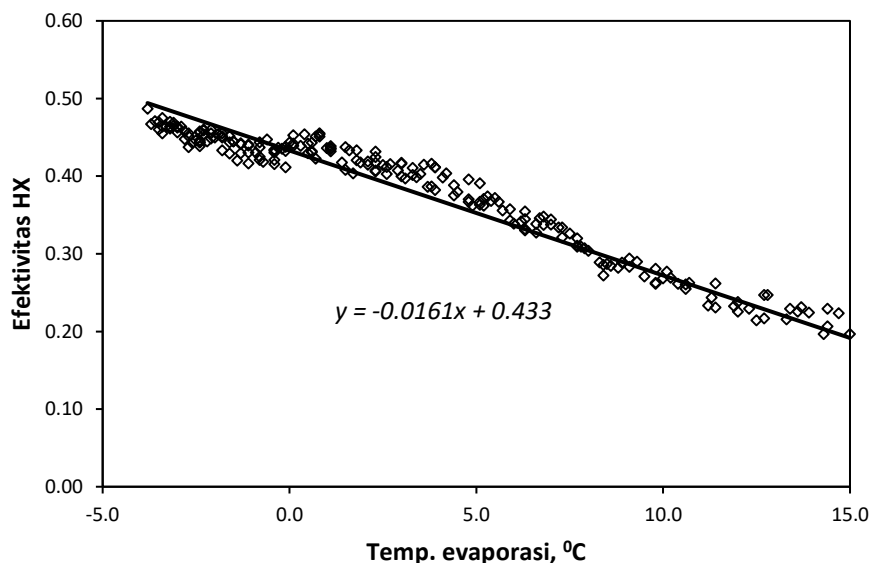
Selanjutnya, hubungan antara efektivitas penukar kalor dengan temperatur evaporator dapat dinyatakan dengan

$$y = -0.0161x + 0.433$$

Jadi, sekali lagi ditegaskan bahwa semakin rendah temperatur evaporator, semakin besar efektivitas penukar kalor. Meski demikian, sekali lagi harus dicatat bahwa pengaruh temperatur evaporator tidak begitu besar, mengingat gradien dari kurva Gambar 8 sangat kecil, yakni -0.016.

Dengan hasil ini, efektivitas penukar kalor memiliki harga 0.433 pada temperatur evaporator 0°C. Jika jika temperatur evaporator diturunkan lagi hingga -5°C, maka efektivitas penukar kalor menjadi 0.438.

Pada temperatur evaporator -10°C , efektivitas akan menjadi 0.443. Jika temperatur evaporator diturunkan lagi menjadi -20°C , efektivitas penukar kalor akan menjadi 0.453.



Gambar 8. Kurva efektivitas penukar kalor vs temperatur evaporator.

4. KESIMPULAN

Pengujian LSHX pada mesin pendingin dengan refrigeran R404a telah dilakukan. Secara umum dapat dikatakan bahwa LSHX bekerja lebih efektif pada tekanan dan temperatur evaporasi yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penukar kalor yang digunakan dapat bekerja baik dan mampu menurunkan temperatur refrigeran pada sisi liquid line hingga maksimum 7°C . Penurunan temperatur refrigeran cair ini mampu menaikkan koefisien kinerja (COP) dari 1.98 pada tekanan evaporasi 30 psig menjadi 2.13 jika subcool bertambah 2°C . Jika subcool ditambah lagi sampai 10°C , maka COP akan naik menjadi 2.42. Pada nilai-nilai subcooling tersebut, kapasitas pendinginan meningkat dari 4.6 kW menjadi 4.838 kW dan 5.698 kW. Setiap derajat kenaikan subcooling akan meningkatkan COP 2%, kapasitas pendinginan 2%, dan kerja kompresor 0.1%. Dengan demikian, penggunaan LSHX dapat meningkatkan efisiensi energi. Selanjutnya, dari penelitian ini diperoleh efektivitas penukar kalor pada berbagai variasi temperatur evaporator dan temperatur suction. Efektivitas berkisar antara 0.22 sampai 0.49. Makin rendah temperatur evaporator dan temperatur suction, efektivitas LSHX semakin besar.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Granryd, E. Refrigeration Engineering. Royal Inst of Technology, 2009.
- [2] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of Fundamental*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta. 2013.
- [3] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of Refrigeration*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta. 2014.
- [4] S. Qian, J. Yu, G.A. Yan. A review of regenerative heat exchange methods for various cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017; 69: 535–550.
- [5] McLinden, M.O. *Optimum Refrigerants for Non-Ideal Cycles: An Analysis Employing Corresponding States*. Proceedings ASHRAE – Purdue CFC and IIR – Purdue Refrigeration Conferences, W. Lafayette, July 17-20, 1990.

- [6] Domanski, P. A., and Didion, D. A. *Thermodynamic Evaluation of R22 Alternative Refrigerants and Refrigerant Mixtures*. ASHRAE Transactions, 1993; Vol. 99, No. 2: 636-648.
- [7] Domanski, P. A., Didion, D. A., and Doyle, J. P. Evaluation of Suction-Line/Liquid-Line Heat Exchange in the Refrigeration Cycle. *Rev. Int. Froid*. 1994; Vol. 17 (7): 487-493.
- [8] Domanski, P.A. *Theoretical Evaluation of the Vapor Compression Cycle With a Liquid-Line/Suction-Line Heat Exchanger, Economizer, and Ejector*. U.S. Department of Commerce. 1995.
- [9] Bittle, R. R., Stephenson, W. R., and Pate, M. B. *An Experimental Evaluation of Capillary Tube-Liquid-suction Heat Exchanger Performance with R152a*. ASHRAE Transactions, 1995; Vol. 101, No. 1: 124-135.
- [10] Bittle, R. R., Stephenson, W. R., and Pate, M. B. *An Evaluation of the ASHRAE Method for Predicting Capillary Tube-Liquid-suction Heat Exchanger Performance*. ASHRAE Transactions, 1995; Vol. 101, No. 2: 434-442.
- [11] Kim, M.H., Domanski, P.A., and Didion, D.A. *Performance of R-22 Alternative Refrigerants in a System with Cross-flow and Counter-flow Heat Exchangers*. U.S. Department of Energy. 1997.
- [12] Klein, S. A. and Reindl, D. T. *The Relationship of Optimum Heat Exchanger Allocation and Minimum Entropy Generation Rate for Refrigeration Cycles*. Transaction of ASME. 1998; Vol. 23: 172-178.
- [13] YanaMotta, S.F., and Domanski, P.A. *Performance of R22 and its alternatives working at high outdoor temperature*. 8th International Congress of Refrigeration, Purdue University, 2000.
- [14] Li, X.Z., J. Che and P. Hrnjak, *Effect of Internal Heat Exchanger on Performance of a R134a Mobile A/C System*, International Congress of Refrigeration, Washington, D.C., 2003.
- [15] Dhanakitt, T. Energy Saving of Split-type Air Conditioners using Liquid-suction Heat Exchanger. Thesis, Department of Energy Technology, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand; 2003.
- [16] Dagilis, V., Vaitkus L., and Balius, A. Liquid-gas heat exchanger for household refrigerator. *International Journal of Refrigeration*. 2004; 27 (3): 235-241.
- [17] Navarro-Esbrí, R. Cabello and Torrella, E. Experimental evaluation of the internal heat exchanger influence on a vapour compression plant energy efficiency working with R22, R134a and R407. *Energy*.2005; 30: 621-636.
- [18] Tambovtsev A., Quack H. Increasing the evaporation temperature with the help of an internal heat exchanger. Technische Universität Dresden, Dresden, Germany, 2000.
- [19] Mastrulloa, R., Mauroa, A.W., Tino, S. and Vanolia G.P. A chart for predicting the possible advantage of adopting a suction/liquid heat exchanger in refrigerating system. *Applied Thermal Engineering*. 2007; 27 (14-15): 2443-2448.