

Pengaruh Penggunaan LSHX pada Kinerja Mesin Refrigerasi pada berbagai Temperatur Evaporasi

Andriyanto Setyawan^a, Prasetyo^b

^aJurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

E-mail : andriyanto@polban.ac.id

^bJurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

ABSTRACT

Liquid-to-suction heat exchanger (LSHX) has been used for air conditioning and refrigeration machines over years. It was aimed to increase the cooling capacity and coefficient of performance. In this paper, the influence of LSHX utilization on a refrigerating machine with refrigerant R404a was investigated. The tests were focused on the heat exchanger effectiveness under various evaporating temperature. To vary the evaporating temperature, a valve was 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, resulting in the evaporating temperatures from -24°C to -10°C. With the LSHX, the liquid refrigerant temperature could be lowered 4°C to 8°C. The reduction of the temperature improves the capacity and coefficient to performance up to 16%. Based on the experiment, the effectiveness of LSHX ranges from 0.18 to 0.25. The lower the evaporating temperature, the higher the effectiveness of LSHX. However, sub-cooling and superheating should be limited to a certain value in order to control the compressor within its safe operating conditions.

Keywords:

LSHX, evaporating temperature, effectiveness, capacity, coefficient of performance.

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].

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.

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 ini menunjukkan bahwa kapasitas dan efisiensi kompresor yang terbesar diperoleh pada temperatur evaporasi 5.6°C [4]. Untuk mendapatkan temperatur evaporasi 5.6°C pada mesin tersebut diperlukan pipa kapiler sepanjang 1057 mm [5].

Pada sisi yang lain, liquid suction heat exchanger (LSHX) dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kapasitas mesin pendingin. Pemanfaatan LSHX lebih banyak ditemui pada mesin refrigerasi dibandingkan dengan mesin tata udara. Melalui simulasi yang dilakukannya, McLinden [6] 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 [7]. Penelitian ini dikembangkan dengan melakukan kajian teoretis pada 29 jenis refrigeran [8,9]. Simulasi yang dilakukan oleh Bivens dkk. [10] menyatakan bahwa penggunaan LSHX mampu meningkatkan kinerja mesin refrigerasi sebesar 6% dengan menggunakan refrigeran campuran. Bittle [11] melakukan eksperimen dengan R152a dan membandingkannya dengan R12. Penelitian ini dikembangkan lagi dengan menggunakan refrigeran R507A, R404A, R600, R290, R134a, R407C, R410A, R12, R22, R32, dan R717. Kim

dkk [12] 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 [13]. 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 [14]. Eksperimen dengan AC mobil menggunakan refrigeran R134a menyatakan bahwa penggunaan LSHX dapat meningkatkan kapasitas dan koefisien kinerja AC mobil [15]. Dhanakitt [16] dalam tesisnya 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 dilaporkan [17] dengan fokus tinjauan pada desain LSHX yang optimal. Penggunaan LSHX pada peralatan refrigerasi kompresi dengan R22, R134a, dan R407 telah diteliti [18], dengan fokus penelitian pada pengaruh laju aliran massa terhadap efisiensi mesin refrigerasi. Eksperimennya dengan R507a dan amonia [19] 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 [20]. Fokus tinjauan pada simulasi ini lebih ditujukan pada pengaruh sifat termodinamikan refrigeran terhadap efektifitas penukar kalor.

Penelitian tentang LSHX di Indonesia telah dilakukan [21,22] di Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung. Pada pengujian pertama, peralatan yang diuji adalah mesin refrigerasi untuk freeezer dengan menggunakan refrigeran R404A. Terdapat kenaikan kapasitas pendinginan antara 6% sampai dengan 9% dari hasil penelitian tersebut. Pada pengujian kedua, mesin yang diuji adalah mesin tata udara dengan kapasitas nominal 9000 Btu/jam.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *perubahan temperatur evaporasi terhadap efektifitas penukar kalor LSHX*. Penelitian ini juga dapat memberikan rekomendasi pada temperatur evaporasi berapa LSHX memberikan efektifitas yang maksimum. Meskipun R22 adalah refrigeran yang paling banyak digunakan di Indonesia, namun tidak lama lagi refrigeran ini akan dihentikan penggunaannya

sesuai dengan Protokol Montreal dan Kyoto [23]. Karena itu, pada penelitian ini dapat dilihat kinerja LSHX pada sistem refrigerasi yang menggunakan R404, yang tidak dibatasi penggunaannya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Mesin pendingin pada umumnya didesain pada suatu kapasitas tertentu untuk menangani beban pendinginan yang tertentu pula. Kapasitas ini akan semakin turun seiring dengan bertambahnya umur peralatan, kondisi penukar kalor (misal kebersihan evaporator dan kondenser), kemampuan kompresi, dan kerja kipas evaporator dan kondenser. Akibat turunnya kapasitas, mesin pendingin seringkali tidak lagi mampu untuk mengatasi beban pendinginan. Dengan pemasangan LSHX, penurunan kapasitas pendinginan mesin dapat dikompensasi, sehingga beban pendinginan ruangan masih dapat diatasi. Selain itu, kenaikan kapasitas dengan pemasangan LSHX juga memungkinkan pengguna untuk memasang mesin dengan *kapasitas nominal yang lebih rendah daripada beban pendinginan*.

2.1. Pengaruh Penggunaan LSHX pada Mesin Tata Udara

Sebagai ilustrasi, simulasi pada suatu mesin dengan kapasitas pendinginan nominal 9000 Btu per jam dapat meningkat kapasitasnya sebesar 4.3% dengan penambahan LSHX jika dioperasikan pada temperatur evaporasi 0°C. Jika temperatur evaporasi diturunkan sampai dengan -5°C, kenaikan kapasitas pendinginan mesin menjadi 4.4%. Jika temperatur evaporasi diturunkan lagi hingga -10°C, maka kapasitas dapat meningkat sebesar 4.5%. Asumsi yang digunakan pada simulasi ini adalah temperatur kondensasi 40°C, derajat superheating 8K, dan derajat subcooling 6K. Dengan kata lain, sebuah mesin pendingin/tata udara dengan kapasitas pendinginan nominal 100%, misalnya, dapat menangani beban pendinginan hingga 105% setelah dipasang LSHX. Dengan efektifitas LSHX yang tinggi, maka dimungkinkan kenaikan kapasitas yang cukup signifikan. Namun demikian, penelitian dengan R22 menunjukkan bahwa kenaikan kapasitas maksimum yang dapat diperoleh pada mesin tata udara yang dilengkapi LSHX adalah sebesar 2.77% pada temperatur evaporasi -0.97°C [23].

Selain memperbesar derajat *superheating*, memperbesar derajat *subcooling*, meningkatkan efek pendinginan (*refrigerating effect*), dan meningkatkan koefisien kinerja mesin, keamanan kerja kompresor dapat lebih terjamin akibat adanya derajat *superheating*, karena refrigeran yang masuk ke kompresor dijamin berfasa uap murni.

Pada penelitian ini, mesin refrigerasi mula-mula diuji kinerjanya tanpa dan dengan dipasang LSHX. Pengujian meliputi pengukuran temperatur dan tekanan kerja pada keluaran evaporator, keluaran kompresor, keluaran kondenser, dan keluaran alat ekspansi. Untuk menjamin harga temperatur kondensasi yang relatif konstan, maka temperatur lingkungan kondenser harus dijaga konstan. Untuk itu, peralatan diletakkan pada ruangan *Walk-in Freezer* (Gambar 1) yang temperturnya dapat dikontrol. Pengaturan temperatur ruangan *Walk-in Freezer* dilakukan dengan menggunakan evaporator yang telah terpasang di dalamnya. Jika temperatur ruangan pada *Walk-in Freezer* dinilai terlalu rendah, maka temperatur dapat dinaikkan dengan menggunakan pemanas listrik untuk menjaga temperatur ruangan yang konstan. Temperatur evaporasi yang diinginkan dapat dicapai melalui pengaturan pengaturan bukaan katup pada *liquid line*. Secara umum, temperatur ruangan *Walk-in Freezer* yang digunakan untuk meletakkan kondenser lebih rendah 11°C dibandingkan temperatur kondensasi. Pengujian dilakukan pada setting tekanan evaporasi 25 psig sampai dengan 50 psig. Dengan pengaturan tekanan/temperatur evaporasi, temperatur kondensasi berharga antara 36°C sampai dengan 40°C.

Setelah pengujian ini selesai, penelitian dilanjutkan dengan menguji kapasitas pendinginan mesin dengan berbagai harga temperatur evaporasi. Variasi temperatur evaporasi diperoleh dengan mengalirkan refrigeran keluaran kondenser dengan bukaan katup yang berbeda-beda. Variasi bukaan yang akan dilakukan ada 11, untuk menghasilkan temperatur evaporasi yang berbeda-beda. Pengubahan temperatur evaporasi pada mesin pendingin dengan katup ekspansi maupun pipa kapiler pada dasarnya dilakukan dengan *mengatur penurunan tekanan* pada kedua alat ekspansi tersebut. Semakin besar penurunan tekanan, semakin rendah temperatur evaporasi yang diperoleh, dan sebaliknya [24]. Meski demikian, penurunan tekanan pada alat ekspansi tidak dapat dilakukan sembarangan.

Besarnya penurunan tekanan pada alat ekspansi akan menentukan besarnya tekanan kerja evaporator (artinya juga menentukan *temperatur kerja evaporator*). Selain ditentukan oleh besarnya penurunan tekanan pada alat ekspansi, besarnya tekanan kerja pada evaporator dipengaruhi oleh jenis refrigeran yang digunakan, temperatur kerja yang diinginkan, jenis alat ekspansi, dan dimensi alat ekspansi yang digunakan [2,3]. Penurunan tekanan yang terlalu besar akan mengakibatkan temperatur evaporasi yang terlalu rendah sehingga koefisien kinerja mesin pendingin (*coefficient of performance, COP*) juga akan rendah. Pada kondisi ini laju aliran refrigeran pada evaporator

akan rendah. Meskipun beda temperatur antara evaporator dan produk yang didinginkan besar dan memberikan potensial pertukaran kalor yang besar, rendahnya laju aliran refrigeran akan menyebabkan laju perpindahan kalor yang rendah pula. Di samping itu, kerja kompresi pada kompresor juga akan besar.

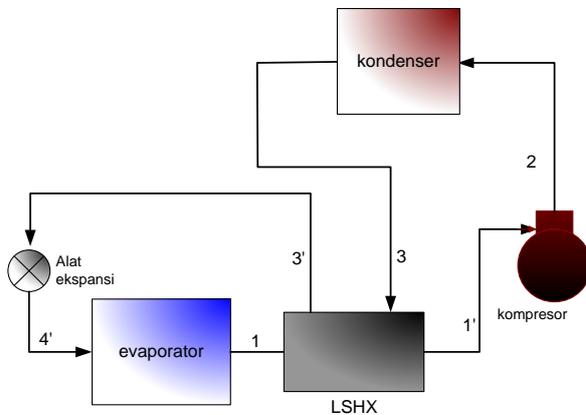
Penurunan tekanan yang terlalu kecil pada alat ekspansi akan menyebabkan temperatur evaporasi yang tinggi dan COP yang tinggi. Pada kondisi ini laju aliran refrigeran akan tinggi. Meski laju aliran refrigeran yang tinggi memungkinkan naiknya tingkat perpindahan kalor, namun beda temperatur yang rendah antara evaporator dengan produk akan mengakibatkan laju pertukaran kalor yang rendah pula. Karena itu, pada penelitian ini akan dipilih temperatur evaporasi optimum yang memberikan kenaikan kapasitas optimum dan penggunaan energi yang minimum.

2.2. Gambaran Penambahan Kapasitas Pendinginan melalui Subcooling dan Superheating dengan LSHX

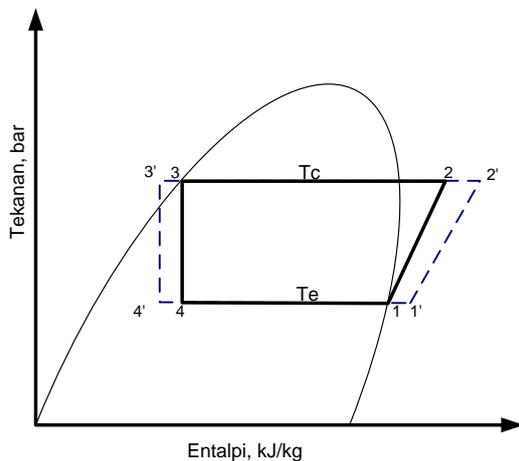
Upaya untuk meningkatkan kinerja suatu mesin refrigerasi, khususnya kapasitas pendinginan, telah banyak dilakukan, antara lain dengan subcooling dan superheating. Subcooling atau “pendinginan lanjut” adalah proses pendinginan refrigeran cair yang keluar dari kondenser, sementara superheating atau “pemanasan lanjut” adalah pemanasan refrigeran uap yang keluar dari evaporator. Dalam mesin-mesin refrigerasi komersial, derajat subcooling dan superheating umumnya telah ditetapkan dengan harga sekitar 5°F sampai 15°F atau sekitar 3°C sampai 8°C. Namun, harga ini seringkali tidak dapat dicapai, khususnya pada mesin-mesin yang telah berusia tua atau telah mengalami pengotoran pada evaporator dan kondensernya. Akibatnya, subcooling dan superheating yang diharapkan tidak dapat dicapai. Dengan memanfaatkan LSHX (Gambar 1) ketercapaian derajat subcooling dan superheating lebih dapat dijamin. LSHX pada sistem ini akan menaikkan temperatur refrigeran uap keluaran evaporator dan menurunkan temperatur refrigeran cair keluaran kondenser.

Meningkatnya kapasitas pendinginan dengan subcooling dan superheating dapat dijelaskan dengan diagram tekanan entalpi pada Gambar 2. Akibat adanya pertukaran kalor pada LSHX, temperatur refrigeran keluaran evaporator akan naik dari kondisi 1 ke 1'. Pada keluaran kondenser, temperatur refrigeran cair akan turun dari kondisi 3 ke 3'. Kenaikan temperatur refrigeran keluaran evaporator dan penurunan temperatur refrigeran pada keluaran kondenser akibat penambahan LSHX akan meningkatkan efek pendinginan (*refrigerating effect*). Meskipun ada penurunan laju aliran massa refrigeran akibat kenaikan derajat

superheat, namun tingkat kenaikan efek pendinginan yang terjadi lebih besar, sehingga pada akhirnya akan didapat kenaikan kapasitas pendinginan.



Gambar 9. Mesin refrigerasi dengan “liquid suction heat exchanger”.



Gambar 10. Ilustrasi pengaruh derajat subcooling dan superheating pada siklus pendinginan.

3. METODOLOGI

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.

3.1. Pengaturan temperatur evaporasi

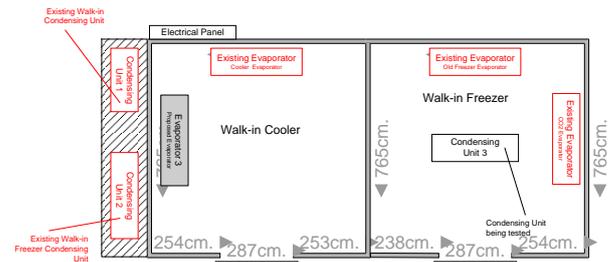
Peralatan yang diuji adalah mesin refrigerasi dengan kapasitas kompresor nominal 3.0 hp. Mesin refrigerasi standar hanya menggunakan satu buah alat ekspansi yang sudah dirancang oleh

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 menyetel kekencangan pegas pada katup ekspansi. Rancangan temperatur evaporasi juga dapat dicapai melalui pemasangan pipa kapiler dengan panjang yang berbeda-beda, sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan [4,5].

3.2. Prosedur Pengujian

Skema pengujian diberikan pada Gambar 3 dan 4, 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 3. Rancangan untuk ruang pengujian mesin refrigerasi.

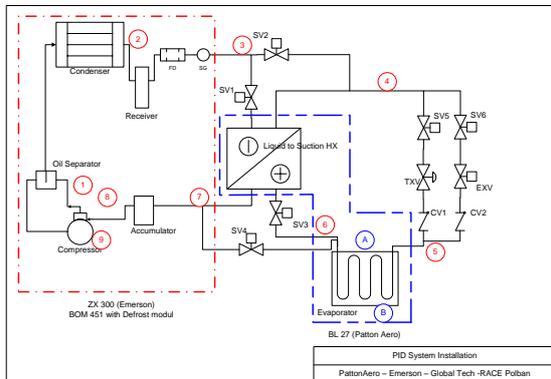
Diagram pemipaan untuk pengujian diberikan pada Gambar 4. Untuk menguji kinerja sistem refrigerasi tanpa LSHX, katup solenoid SV1 dan SV3 ditutup. Saat katup SV1 ditutup, refrigeran keluaran kondenser akan melewati katup solenoid SV2 dan selanjutnya akan menuju evaporator setelah melewati SV5 dan katup 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.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

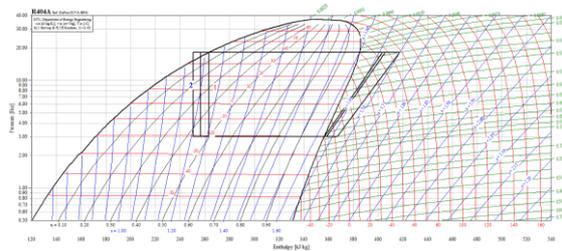
4.1. Kinerja Mesin Pendingin

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 5).



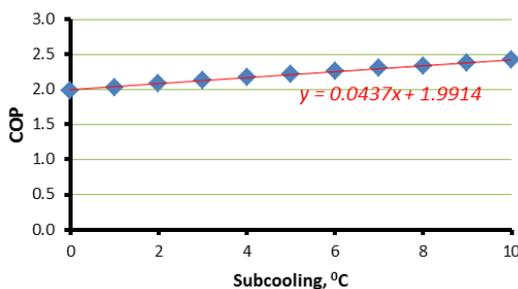
Gambar 4. Rancangan diagram pemipaan untuk pengujian mesin refrigerasi dengan LSHX.



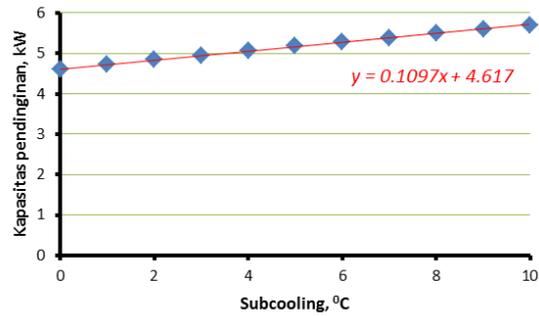
Gambar 5. Gambaran siklus pendinginan dengan pada mesin pendingin dengan R404a.

Saat LSHX digunakan, COP dapat meningkat hingga 2.42 saat penambahan subcooling mencapai 10°C. Kurva COP terhadap derajat subcooling diberikan pada Gambar 6.

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 7.

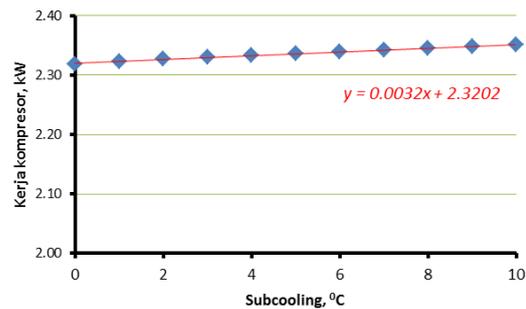


Gambar 6. Kurva COP vs subcooling.



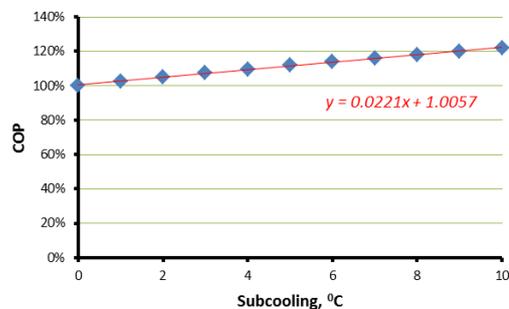
Gambar 7. Kurva kapasitas pendinginan vs subcooling.

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 8.



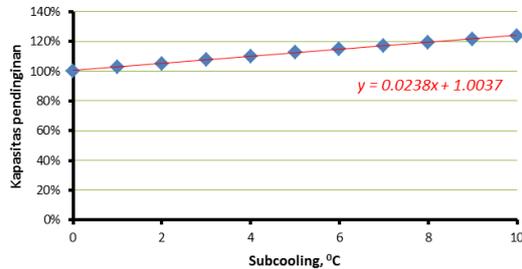
Gambar 8. Kurva kerja kompresor vs subcooling.

Dari Gambar 5 sampai 8, dapat dihitung kenaikan COP, kapasitas pendinginan, dan kerja kompresor per satu derajat kenaikan subcooling. Gambar 9 sampai 11 menunjukkan tingkat perubahan COP, kapasitas pendinginan, dan kerja kompresor terhadap derajat subcooling.



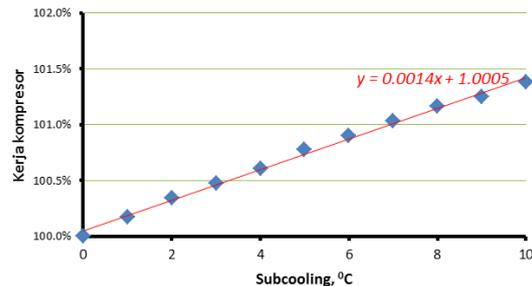
Gambar 9. Tingkat kenaikan COP vs subcooling.

Dengan melihat Gambar 9, maka dapat dikatakan bahwa 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 sebagaimana terlihat pada kurva.



Gambar 10. Persentase kenaikan kapasitas pendinginan vs subcooling.

Dengan melihat Gambar 10, maka dapat dikatakan bahwa setiap satu derajat penambahan subcooling akan menambah 2.3% kapasitas mesin pendingin. Hal ini dapat dilihat dari gradien kenaikan kapasitas pendinginan terhadap derajat subcooling sebesar 0.023 sebagaimana terlihat pada kurva.



Gambar 11. Persentase kenaikan kapasitas pendinginan vs subcooling.

Dari Gambar 11 dapat dilihat bahwa setiap satu derajat penambahan subcooling akan menambah 0.1% kerja kompresor. Hal ini dapat dilihat dari gradien kenaikan kerja kompresor terhadap derajat subcooling sebesar 0.001 sebagaimana terlihat pada kurva. 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.

5. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Granryd, E. et al., Measuring Performance of a Compressor Refrigerating Rig, Sustainable Energy Utilisation, 2002
- [2]. ASHRAE, 2005. ASHRAE Handbook of Fundamental, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- [3]. ASHRAE, 2006. ASHRAE Handbook of Refrigeration, American Society of Heating,

- Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- [4]. Simbolon, LM, dan A. Setyawan, 2007. Penentuan temperatur evaporasi mesin pendingin kompresi uap untuk mendapatkan kapasitas optimum kompresor, Proceeding Research Grant, TPSDP Dikti.
- [5]. Ruchiyat, Agni Marissa, 2006. Pengaruh perubahan dimensi pipa kapiler terhadap temperatur evaporasi pada split air conditioning, Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung.
- [6]. 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, IN July 17-20, (1990).
- [7]. Domanski, P. A., and Didion, D. A., "Thermodynamic Evaluation of R22 Alternative Refrigerants and Refrigerant Mixtures", ASHRAE Transactions, Vol. 99, No. 2, pp. 636-648, (1993).
- [8]. 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, Vol. 17, No. 7, pp. 487-493, (1994)
- [9]. 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, March 1995
- [10]. 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, Vol. 101, No. 1, pp. 124-135, (1995a).
- [11]. 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, Vol. 101, No. 2, pp. 434-442, (1995b).
- [12]. 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, January 1997.
- [13]. Klein, S. A. and Reindl, D. T. "The Relationship of Optimum Heat Exchanger Allocation and Minimum Entropy Generation Rate for Refrigeration Cycles", ASME International Journal of Refrigeration, Vol. 23, Part 8, pp. 588-596 (2000).
- [14]. 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.
- [15]. 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 2003, Washington, D.C.
- [16]. Dhanakitt, T., (2003). "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
- [17]. Dagilis, V., Vaitkus L., and A. Balius, Liquid-gas heat exchanger for household refrigerator, International Journal of Refrigeration, Volume 27, Issue 3, May 2004, Pages 235-241
- [18]. Navarro-Esbría, R. Cabelloa and E. Torrellab, Experimental evaluation of the internal heat exchanger influence on a vapour compression plant energy efficiency working with R22, R134a and R407C, Energy Journal, Volume 30, April 2005, Pages 621-636.
- [19]. Tambovtsev A., Quack H., "Increasing the evaporation temperature with the help of an internal heat exchanger", Technische Universität Dresden, Dresden, Germany, 2000.
- [20]. Mastrulloa, R., A.W. Mauroa, S. Tino, a, and G.P. Vanolia, A chart for predicting the possible advantage of adopting a suction/liquid heat exchanger in refrigerating system, Journal of Applied Thermal Engineering, Volume 27, Issues 14-15, October 2007, Pages 2443-2448
- [21]. W. Hermawan dan A. Setyawan, 2009. Pengaruh Variasi Temperatur Kondensasi Terhadap Kinerja Mesin Refrigerasi dengan R404A yang Menggunakan Liquid-Suction Heat Exchanger (LSHX), Penelitian Terapan Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Polban.
- [22]. Setyawan dan Markus, 2010. Penggunaan Liquid Suction Heat Exchanger (LSHX) pada Mesin Tata Udara untuk Meningkatkan Kapasitas Pendinginan pada Berbagai Temperatur Evaporasi, Penelitian Terapan Unit Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Polban.
- [23]. Baliunas, S., The Kyoto Protocol and Global Warming, The Lavoisier Group, Inc., 2002.
- [24]. Pita, Edward G., 2001, Air Conditioning Principles and Systems: an Energy Approach, 4th ed., John Wiley & Sons, New York.