

PERFORMANCE OF THE MINIATURE ICE SKATING COMPRESSION REFRIGERATION SYSTEM WITH TXV AND CAPILER EXPANSION

Tandi Sutandi¹⁾, Yuda Wardana²⁾

Politeknik Negeri Bandung
email: ade.tandi@gmail.com
email: Yuda @gmail.com

Abstract

Vapor compression cycle cooling system are the widely used as refrigeration system machines nowadays, with the main components are compressors, condensers, evaporators and expansion devices (trotting devices). Expansion valves used on these system are many types, but the most often found in the field are capillary type and thermostatic expansion valve (TXV). Ice Skating is one application of vapor compression refrigeration system where the evaporator is used to freeze water for ice skating areas. In this study the method used to assess the performance of refrigeration / cooling systems in the prototype Ice Skating machine is to compare systems that use a type of thermostatic expansion valve (TXV) and capillary pipe. The purpose of this research is to obtain the most effective ice skating cooling system miniature based on the performance of the refrigeration/cooling system by comparing the system using a type of thermostatic expansion valve (TXV) and capillary pipe.

From the calculation results, for miniature ice skating cooler using TXV the value of the refrigeration (qe) effect is 162.64 kJ / kg, condenser capacity (qc) 208.86 kJ / kg, compressor capacity 50.43 kJ / kg, COP actual 3.53, and system efficiency 65% . Whereas the system using capillary pipes obtained the value of refrigeration effect (qe) 171.12 kJ / kg, condenser capacity (qc) 211.03 kJ / kg, compressor capacity 46,05 kJ / kg, COPa 4.39 and efficiency of 83.47%. The time needed to reach the product/water temperature cooled at -13 °C are 280 and 325 minutes for using TXV and capillary, respectively.

Keywords: *Ice Skating, TXV, Capillary pipe, COP*

1. PENDAHULUAN

Peralatan sistem refrigerasi kompresi uap banyak digunakan cukup luas sekali diantaranya digunakan pada proses industri makanan/minuman ,sarana olah raga (*ice skating*), super market, hiper market transportasi, perkantoran, rumah sakit, hotel dll [1] . Peralatan ini salah satu yang banyak mengkonsumsi energi listrik. Untuk menekan penggunaan energi agar lebih efisien, maka perlu langkah-langkah penghematan dan ini sesuai dengan peraturan menteri ESDM tahun 2012 tentang audit energi, yang berbunyi Audit energi adalah proses evaluasi pemanfaatan energi dan identifikasi peluang penghematan energi serta rekomendasi peningkatan efisiensi pada pengguna sumber energi dan pengguna energi dalam rangka konservasi energi.

Upaya pemerintah yang berkaitan dengan penghematan pemakaian energi pada bidang mesin pendingin/AC Sesuai peraturan menteri energi dan sumber daya mineral Republik Indonesia No.13 tahun 2012, bab 2 pasal 4 ayat 2a diantaranya dengan cara menggunakan mesin pendingin/AC hemat energi (berteknologi inverter), menempatkan

unit kompresor pada lokasi yang tidak kena sinar matahari, mengatur suhu dan kelembaban relative sesuai standar nasional Indonesia.

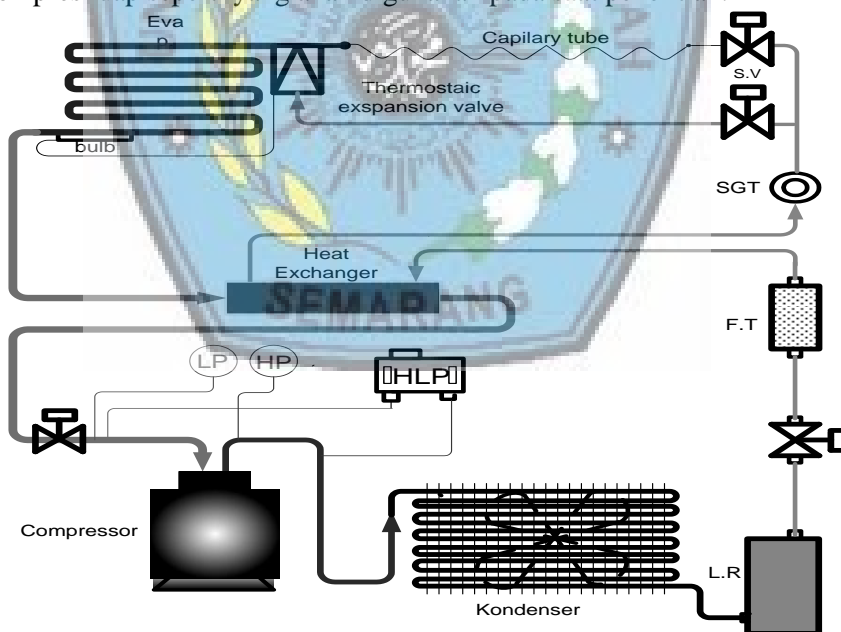
Peningkatan kinerja pada mesin pendingin dan pengkondisi udara akan menghasilkan penghematan yang sangat besar untuk skala nasional, apalagi skala global [1,2]. Berbagai macam metode yang memungkinkan dilakukan untuk menanggulangi hal tersebut, salah satunya adalah memilih jenis ekspansi yang tepat untuk mesin pendingin kompresi uap pada mesin prototipe *ice skating*.

Penelitian untuk meningkatkan kinerja dan mengamankan kerja mesin refrigerasi kompresi uap telah dimulai cukup lama oleh beberapa pihak dengan berbagai inovasi dan penambahan komponen asesoris/tambahan pada sistem [3]. Yang dilakukan penulis dalam pelaksanaan penelitian ini adalah mengamati kinerja sistem yang paling optimum dengan membandingkan dari kedua jenis ekspansi yang digunakan yaitu Thermostatic Expansion Valve (TXV) dan capillary tube..

2. KAJIAN LITERATUR

2.1. Mesin Refrigerasi Kompresi Uap

Jenis mesin refrigerasi berdasarkan siklus termodinamiknya dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis yaitu mesin refrigerasi siklus kompresi uap, mesin refrigerasi siklus absorpsi, Mesin refrigerasi siklus ejektor uap, mesin refrigerasi siklus udara dan Mesin refrigerasi siklus vorteks [4]. Mesin refrigerasi yang paling banyak digunakan dimasyarakat dan di dunia industri dewasa ini adalah mesin refrigerasi dengan siklus kompresi uap seperti yang akan digunakan pada saat penelitian.



Gambar 1 skematik sistem refrigerasi kompresi uap dengan dua pilihan jenis ekspansi

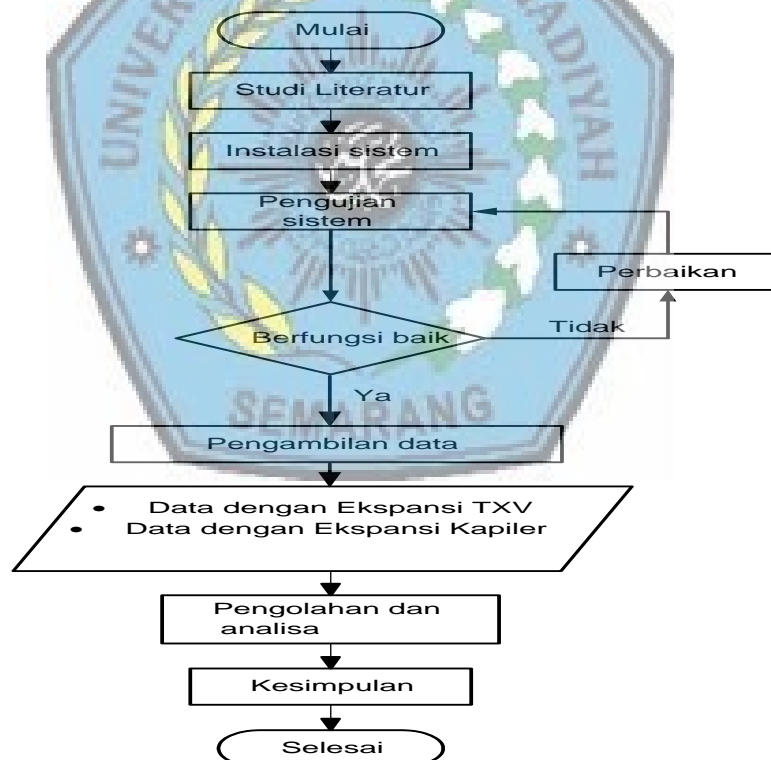
Pada prinsipnya mesin refrigerasi kompresi uap terdiri dari 4 fungsi yaitu: Evaporasi, kompresi, Kondensasi dan ekspansi. Sesuai dengan fungsinya maka komponen sistem refrigerasi mekanik terdiri dari :evaporator, kompresor, kondensor dan katub ekspansi/pengontrol refrigeran [7]. Sebagai media untuk memindahkan kalor dari

ruangan yang dikondisikan ke evaporator atau membuang kalor dari kondenser digunakan fluida kerja yang disebut refrigeran.

Disamping itu terdapat komponen bantu yang jenisnya tergantung dari aplikasi dan kapasitas mesinnya, antara lain pipa penghubung pada sisi tekanan rendah (*suction line*) dan tekanan tinggi (*discharge line*) *filter dryer*, *Sight glass*, *heat exchanger*, *accumulator*, *solenoid valve* fan,, katub, regulator dan protector . Bagian kontrol mesin refrigerasi terdiri dari berbagai komponen yang bekerja secara elektrik, atau elektronik, antara lain :motor penggerak kompresor dan fan, volt meter, amper meter, watt meter kontaktor, relai, *time delay* motor starter, *over load protection*, *capasitor*, *pressure switch*, *thermostat*, *humidistat*, *timer* serta berbagai alat bantu lain yang berupa regulator dan protector[7,8]. Sedangkan sistem refrigerasi yang dilengkapi dengan dua jenis exspansi valve seperti terlihat pada gambar 2 diatas.

3. METODE PENELITIAN

Secara garis besar metode pelaksanaan percobaan pada penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu mempersiapkan sistem yang akan dikaji, peralatan alat ukur, sheet data, pengambilan data, pengolahan data, dan membuat kesimpulan dari percobaan yang dilakukan, secara umum proses penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada *flow chart* berikut ini.



Gambar 2 *Flow chart* penelitian

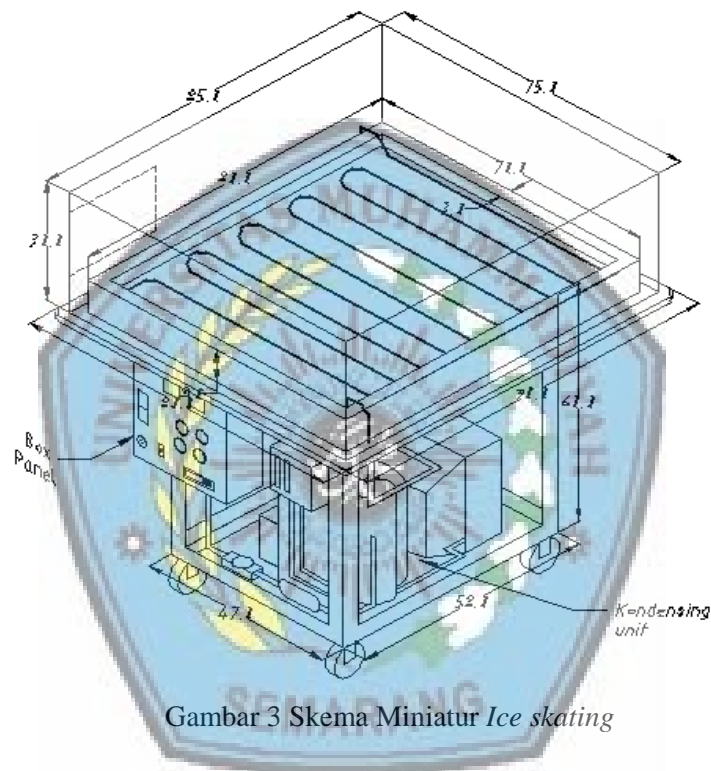
3.1. Sistem yang dikaji

Mesin yang dianalisis adalah sistem refrigerasi kompresi uap miniatur *ice skating* menggunakan refrigeran R-22, dipasangkan dua jenis alat ekspansi yaitu TXV (*Thermal Ekspansion Valve*) dan pipa kapiler. Sistem dioperasikan pada masing-masing salah satu jenis alat ekspansi dengan memodulasikan buka tutup *hand valve* yang terletak pada tiap masukan alat ekspansi.

3.2. Bahan dan alat

Bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini:

- | | |
|---|----------|
| ✓ Prototive unit sistem refrigrerasi <i>ice skating</i> | 1 buah |
| ✓ Manifold gauge | 1 set |
| ✓ Thermometer digital | 5 chanel |
| ✓ Amper meter | 1 buah |
| ✓ Volt Meter | 1 buah |
| ✓ Refrigerant | 3 Kg |
| ✓ Stop Watch | 1 buah |



Gambar 3 Skema Miniatur *Ice skating*

3.3. Rencana Pengujian sistem

a. Pengujian sistem menggunakan jenis ekspansi kapiler

Pada penelitian ini, pengujian dimulai dengan menutup saluran liquid yang melewati *ekspansi thermostatic valve (TXV)* dan membuka saluran liquid yang langsung menuju arah katup ekspansi kapiler, sedangkan katup yang lainnya pada kondisi terbuka. Kondisi awal sistem diukur baik tekanan maupun temperaturnya, kemudian sistem dihidupkan dan dibiarkan berjalan, pengukuran dilakukan setiap 5 menit sekali sampai *chiling time* tercapai.

Besaran-besaran selengkapnya yang akan diukur pada pengujian sistem *ice skating* adalah sebagai berikut:

- ✓ Tekanan discharge
- ✓ Tekanan Suction
- ✓ Temperatur discharge
- ✓ Temperatur suction
- ✓ Temperatur sebelum Ekspansi
- ✓ Arus & tegangan listrik

- ✓ Temperatur produk
- ✓ Suhu lingkungan

b. Pengujian menggunakan ekspansi *thermostatic expansion valve* (TXV)

Langkah pengujian dimulai dengan membuka saluran liquid yang melewati Ekspansi TXV dan menutup dari kondensor yang langsung menuju arah katup ekspansi kapiler. Saluran yang berasal dari keluar evaporator langsung menuju katup isap kompresor. Kondisi awal sistem diukur baik tekanan maupun temperaturnya, kemudian sistem dihidupkan dan dibiarkan beroperasi secara normal, pengukuran dilakukan setiap 5 menit sekali sampai tercapainya *chilling time*, hal ini sama seperti yang dilakukan pada pengambilan data untuk jenis ekspansi sebelumnya termasuk parameter yang diukurnya.

3.4. Waktu dan Tempat Penelitian

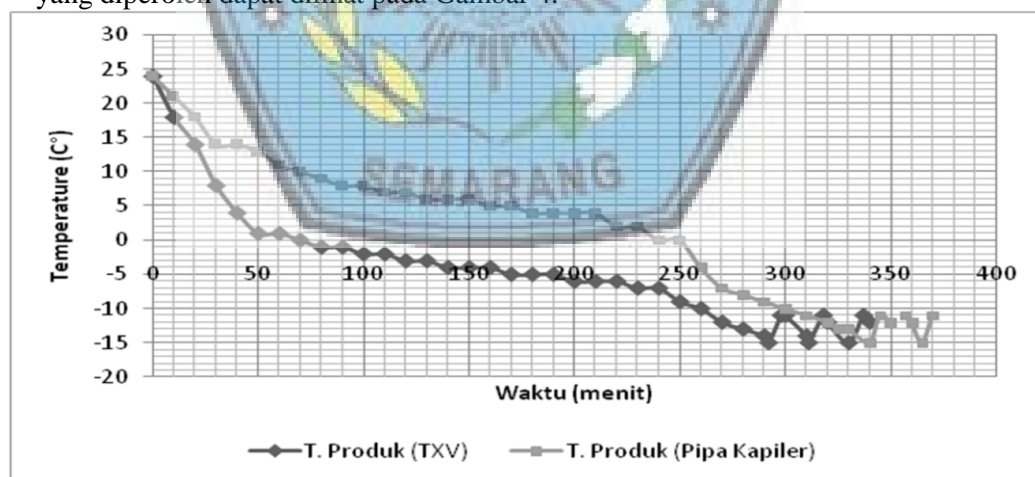
Penelitian ini dilakukan di laboratorium Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung. Penelitian memerlukan alokasi waktu sekitar 3 bulan, termasuk pembuatan laporan.

4. HASIL PENELITIAN

Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil-hasil sebagaimana disajikan pada uraian di bawah ini:

4.1 Analisa Temperatur Produk

Pada pengujian dan penelitian ini, difokuskan untuk mengamati waktu pencapaian (*chilling time*) temperatur produk (air beku), dengan target temperatur tercapai yaitu sebesar -13°C , dengan memvariasikan jenis alat ekspansinya. Hasil data yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.



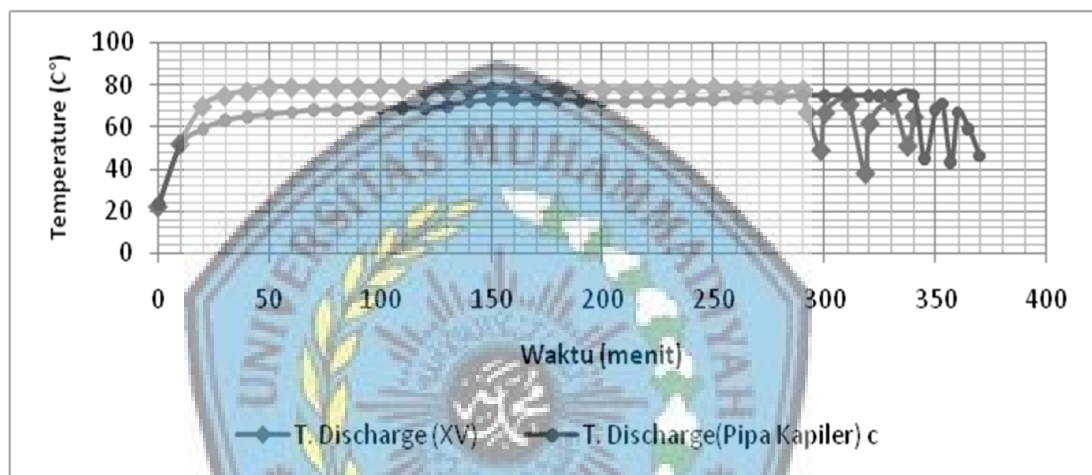
Gambar 4 Pencapaian temperatur produk

Dari hasil pengujian pada sistem, dapat diketahui bahwa saat menggunakan alat ekspansi jenis TXV (*Thermostatic Expansion Valve*) pencapaian temperatur yang diperoleh lebih cepat, dibandingkan pada saat sistem menggunakan alat ekspansi pipa kapiler. Waktu pencapaian tercepat yaitu pada menit 280, pada kondisi saat sistem menggunakan TXV, sedangkan pada saat menggunakan pipa kapiler membutuhkan waktu 45 menit lebih lama yakni temperatur es -13°C baru tercapai pada menit ke 325. Kondisi ini dimungkinkan

karena adanya perbedaan besar laju aliran massa refrigeran pada bagian evaporator, sistem dengan TXV memiliki laju aliran massa refrigeran yang lebih besar dibandingkan dengan pipa kapiler, sehingga dengan begitu lebih banyak kalor yang diserap oleh refrigeran, akhirnya temperatur produk pun menjadi lebih cepat menurun.

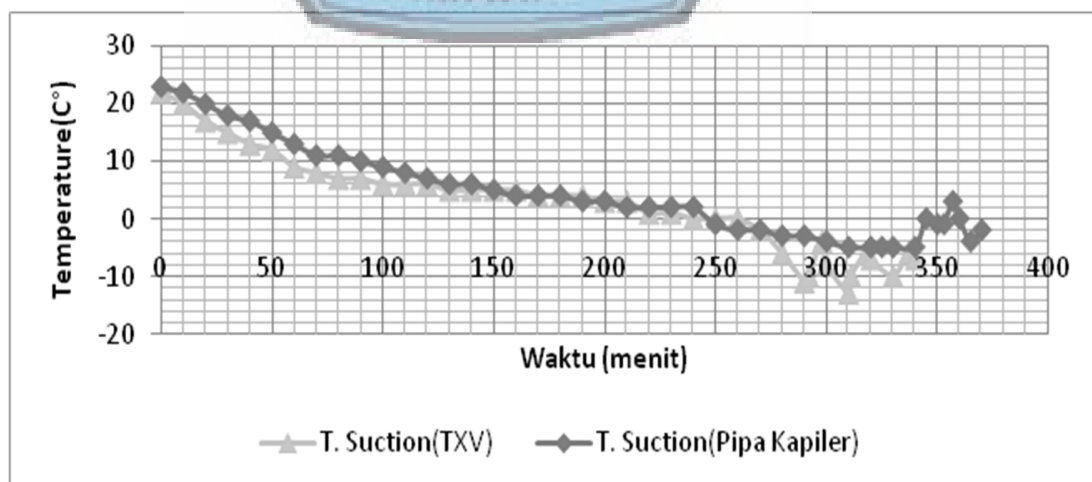
4.2 Temperatur *Discharge* dan *Suction*

Dengan menggunakan alat ekspansi TXV, temperatur yang tercapai lebih tinggi, dibandingkan dengan temperatur yang tercapai pada sistem dengan pipa kapiler sebagai alat ekspansinya. Temperatur *discharge* tertinggi terukur 79°C untuk sistem yang menggunakan TXV pada menit ke 100, dan untuk sistem yang menggunakan pipa kapiler temperatur *discharge* yang tertinggi tercapai sebesar 75°C pada menit ke 300.



Gambar 5 Perbandingan temperatur *discharge*

Kondisi ini menunjukkan bahwa temperatur berbanding lurus dengan tekanan, serta pengaruh besarnya beban pendinginan yang diserap oleh evaporator.



Gambar 6 Perbandingan temperatur *suction*.

Untuk temperatur *suction* yang dapat dicapai oleh sistem, dengan memvariasikan alat ekspansinya dari gambar diatas, dapat diketahui bahwa untuk sistem yang menggunakan TXV sampai mencapai temperatur terendah -13°C pada menit ke 310. Sedangkan untuk sistem dengan pipa kapiler temperatur terendah *suction* terendah hanya tercapai sampai -5°C . hal ini disebabkan jumlah kalor yang diserap dibagian evaporator mempengaruhi meningkatnya temperatur pada refrigeran pada bagian *suction*, untuk data yang TXV jumlah refrigeran yang mengalir lebih besar, sehingga pada bagian *suction* temperaturnya lebih rendah sebab kalor tidak berpengaruh drastis, ini berbeda dengan data yang pipa kapiler dimana jumlah kalor yang diserap dievaporator mempengaruhi peningkatan temperatur *suction*nya, karena jumlah refrigeran yang mengalir dievaporator lebih sedikit, akhirnya peningkatan temperatur pada *suction*nya cukup tinggi. Pada gambar 4 terlihat bagaimana sistem mencapai *cut off* dan *cut in*, dimana sistem dengan menggunakan alat ekspansi TXV mencapai *cut off* lebih cepat terjadi pada menit ke-292, dibandingkan saat sistem menggunakan pipa kapiler, matinya sistem oleh *thermostat* baru tercapai pada menit ke-340.

4.3 Rasio Kompresi

Nilai rasio kompresi pada suatu sistem mempengaruhi pada kinerja sistem itu sendiri, dari data yang diperoleh dari pengamatan, terdapat perbedaan nilai rasio kompresi diantara sistem yang menggunakan TXV dan pipa kapiler. Terlihat pada Gambar 7 bahwa sistem yang menggunakan TXV memiliki nilai rasio kompresi yang lebih rendah, dibandingkan pada sistem ketika menggunakan pipa kapiler.

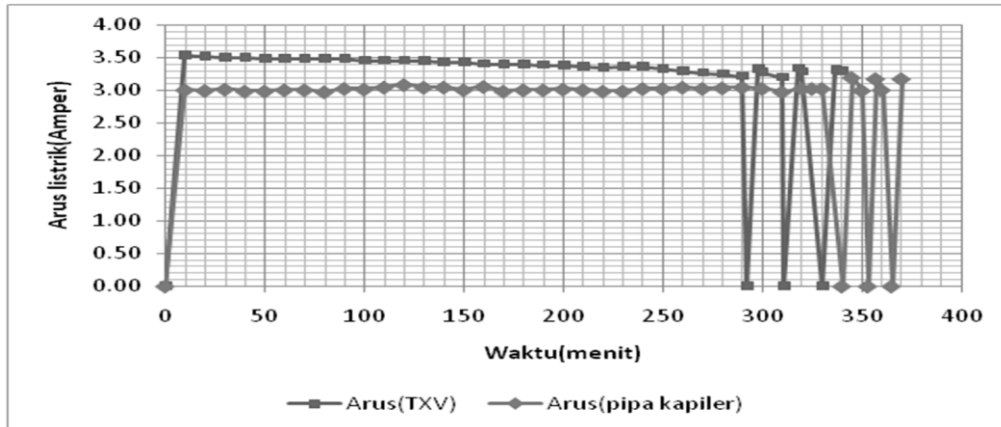


Gambar 7 Perbandingan rasio kompresi

Rata-rata rasio kompresi saat sistem menggunakan TXV adalah sebesar 4,09 sedangkan pada saat sistem menggunakan pipa kapiler rasio kompresi rata-rata sebesar 5,92.

4.4 Arus Listrik dan Tegangan listrik

Berikut dapat dilihat perbandingan arus listrik yang terukur pada sistem

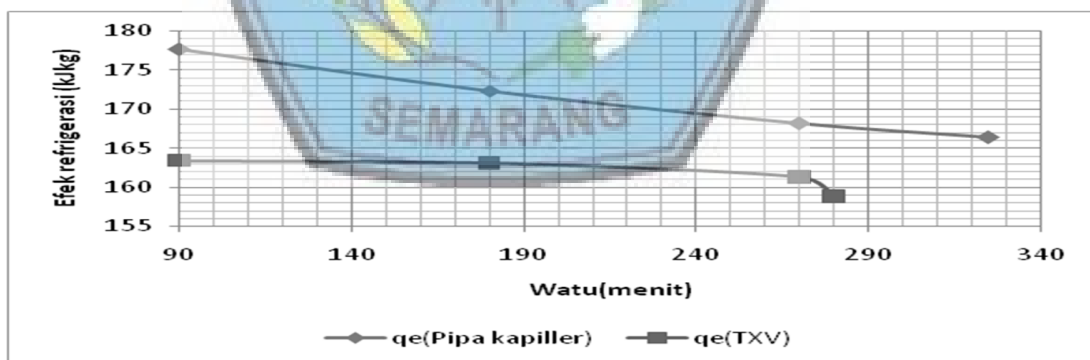


Gambar 8 Perbandingan arus listrik

Hasil pengukuran arus listrik sistem dapat dilihat pada Gambar 8 dimana terlihat bahwa sistem dengan menggunakan TXV memiliki nilai arus listrik yang lebih besar, dibandingkan pada saat sistem menggunakan alat ekspansi pipa kapiler. Arus listrik rata-rata yang terukur pada saat menggunakan TXV yaitu sebesar 3,42 amper, sedangkan saat sistem menggunakan pipa kapiler arus listrik yang terukur rata-rata sebesar 3,02 amper. Kondisi ini disebabkan perbedaan jumlah massa refrigeran yang dikompresi pada kompresor, semakin banyak refrigeran yang dikompresikan, maka akan semakin berat kerja kompresor yang berakibat pada peningkatan arus kerja pada sistem, maupun sebaliknya.

4.5 Efek refrigerasi(qe)

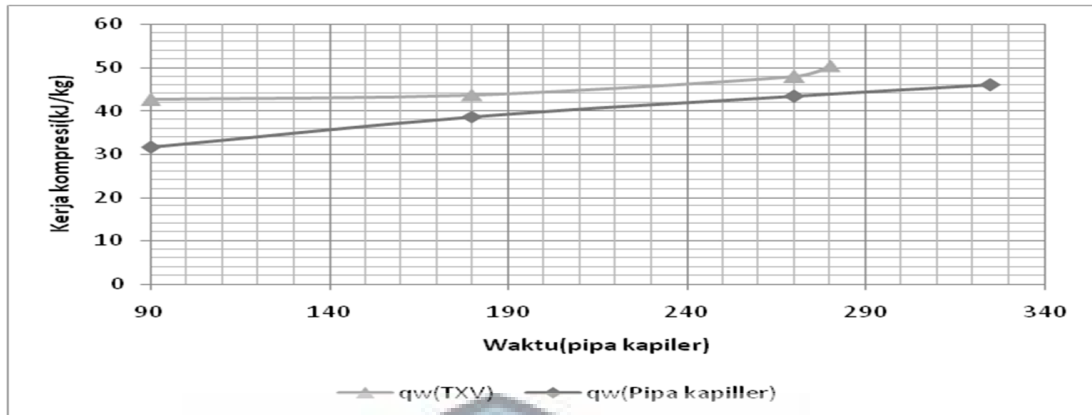
Data efek pendinginan pada Gambar 9 merupakan data penghitungan pada rentang waktu 90 menit sampai sistem mencapai temperatur rancangan -13°C .



Gambar 9 Perbandingan efek refrigerasi(qe)

Dari gambar tersebut terlihat nilai rata-rata efek refrigerasi sistem saat menggunakan pipa kapiler lebih besar yakni 171,12 kJ/kg, dibandingkan saat sistem menggunakan alat ekspansi TXV (*thermostatic expansion valve*) rata-rata sebesar 162,64 kJ/kg, ini disebabkan karena tekanan *suction* pada sistem dengan pipa kapiler lebih tinggi dari sistem dengan TXV sehingga *enthalpy* pada sisi masukan kompresornya lebih besar. Laju aliran massa refrigeran yang sedikit saat masuk pada evaporator karena penyerapan kalor mengakibatkan peningkatan temperatur yang cukup besar. Pada sistem terlihat pada

masing-masing alat ekspansi terjadi penurunan kapasitas pendinginan dari pengambilan data awal sampai akhir pengambilan data.

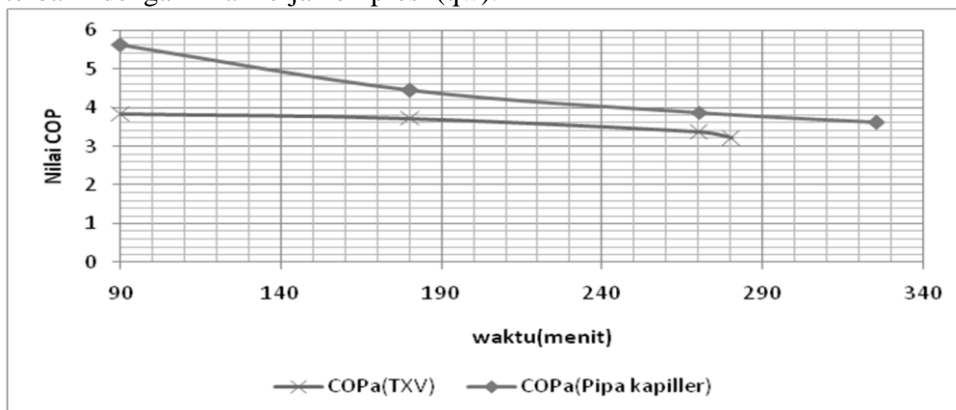


Gambar 10 Perbandingan kerja kompresi (qw)

Pada Gambar 10 perbandingan terlihat, nilai kerja kompresi sistem pada saat menggunakan alat ekspansi TXV lebih besar yakni dengan rata-rata nilai kerja kompresi sebesar 46,21 kJ/kg, dibandingkan pada saat sistem menggunakan alat ekspansi pipa kapiler yakni sebesar 39,91 kJ/kg. Kondisi ini disebabkan karena perbedaan besar laju aliran massa refrigeran, serta perbedaan nilai temperatur *suction* dan temperatur *discharge* pada masing-masing kondisi. Sistem yang menggunakan TXV memiliki rentang perbedaan temperatur yang lebih besar dibandingkan dengan pipa kapiler, hal tersebut berbanding lurus dengan nilai Δh (perbedaan *enthalpy*) sehingga sesuai dengan persamaan 2.1 nilai kerja kompresinya pun besar.

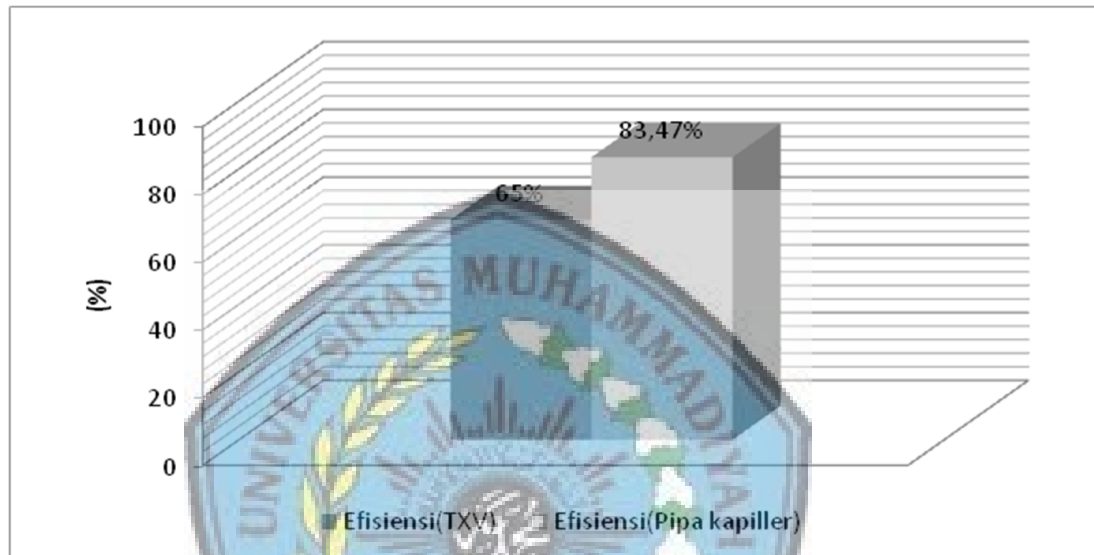
4.6 COPa dan Efisiensi

Pada Gambar 11 merupakan data perbandingan nilai COP_{aktual} antara kondisi sistem saat menggunakan alat ekspansi TXV dan pipa kapiler, terlihat besar nilai COP_a pada sistem yang menggunakan pipa kapiler memiliki nilai COP_a yang lebih besar rata-rata nilai COP_a 4,39 sedangkan untuk sistem yang menggunakan TXV dari pengolahan data yang dilakukan didapatkan nilai COP_a rata-rata sebesar 3,53. Ini disebabkan oleh nilai efek refrigerasi (q_e) sistem kapiler yang lebih besar dari pada efek refrigerasi sistem dengan TXV. Hal tersebut sesuai dengan teorema bahwa nilai COP_a (*coefficient of performance*) berbanding lurus dengan efek refrigerasi (q_e) pada sistem dan berbanding terbalik dengan nilai kerja kompresi (q_w).



Gambar 11 Perbandingan COPa

Nilai efisiensi sistem terlihat pada Gambar 12 bahwa efisiensi pada sistem kompresi uap miniatur *ice skating* dengan alat ekspansi pipa kapiler memiliki efisiensi yang lebih besar daripada sistem dengan TXV (*thermal expansion valve*). Data efisiensi di bawah merupakan data yang diambil ketika sistem mencapai temperatur rancangan. Efisiensi sistem berbanding lurus dengan COP aktual sistem, dan berbanding terbalik dengan COP_{Carnot} sistem, semakin besar nilai COP_{Carnot} maka semakin kecil efisiensi sistem.



Gambar 12 Perbandingan efiseiensi

5. SIMPULAN

Secara umum proses kerja sistem pendingin kompresi uap miniatur *ice skating* yang telah dirancang relatif baik, ditandai dengan temperatur produk (air dalam gelanggang sistem) dapat tercapai sebesar -13°C sesuai rancangan semula. Dari hasil pengujian diperoleh bahwa sistem miniatur sistem *ice skating* dengan menggunakan alat ekspansi jenis TXV diperoleh *chilling time* 280 menit, sedangkan saat sistem menggunakan alat ekspansi pipa kapiler *chilling time* tercapai lebih lama yakni 325 menit.

Performansi sistem rata-rata menggunakan TXV & kapiler yaitu nilai rasio kompresi 4,09 dan 5,92 sedangkan efek refrigerasi berharga 163 KJ/Kg dan 171 KJ/Kg untuk COPa, efisiensi sistem, kerja kompresor (qw) dan arus listrik masing-masing 3,5 dan 65%, 46,21 KJ/Kg dan 3,42 amper untuk ekspansi jenis TXV dan jenis kapiler sebesar 4,39 dan 83,47%, 39,91 KJ/Kg dan 3,02 amper. Jika tidak mempertimbangkan laju aliran masa refrigeran nampaknya performansi sistem dengan jenis ekspansi kapiler relative lebih baik walaupun dari sisi *chiling time* temperatur produk jenis TXV lebih unggul.

6. REFERENSI

American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, ASHRAE Handbook of Applications, ASHRAE, Atanta, 2015.

- A. H. Dhumal and H.M Dange. Investigation of influence of the various expansion devices on the performance of a refrigerator using R407c refrigerant. Mechanical Engg. Dept., P.V.P.I.T, Budhgaon, Dist.-Sangli 416416, India 2014.
- Dossat, R J. 1985, Principle of Refrigeration and Air conditioning (2nd Edition), John Willey and Sons, New York.
- Ian W. Eames a,* , Adriano Milazzo b, Graeme G. Maidment, 2014. Modelling thermostatic expansion valves. *International Journal refrigeration*.
- O'Neal, D.L. and Farzad, M., 1990. The effect of improper refrigerant charging on the performance of an air conditioner with capillary tube expansion. *Energy and Buildings* 14, 363-371.
- Peraturan menteri dan sumber daya mineral Republik Indonesia nomor 13 tahun 2012 Tentang penghematan pemakaian tenaga listrik.
- Pasek,D,A;Tandian,P,N;Adriansyah,W;2003.*Training of Trainers Refrigeration Servicing Sector*. UNDP.
- Rohit Joshi and Prof. Vijay Patil, Experimental analysis of Thermostatic expansion valve, Constant expansion device and Cap tube on vapour compression refrigeration system.2016 *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (IJSEAS)*.

