



Studi Eksperimental Efektifitas Penukar Kalor Pipa Ganda *Helical* Pada Sistem Refrigerasi Joule-Thomson

Cecep Sunardi,* Suhanan,** Sumeru*

(*)Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara Politeknik Negeri Bandung

(**)Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Program Pasca sarjana Teknik Mesin
FT-UGM Jalan Grafika No. 2 Yogyakarta

Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

e-mail: cepsunardi@gmail.com

Abstrak

Mesin refrigerasi Joule Thomson (J-T) saat ini sedang dikembangkan untuk aplikasi kriogenik menggantikan sistem refrigerasi Linde. Kelebihan mesin refrigerasi J-T dibandingkan dengan mesin refrigerasi Linde adalah pada tekanan kerjanya yang lebih rendah, dimana mesin refrigerasi J-T bekerja pada tekanan sekitar 20 bar dan mesin refrigerasi Linde pada 200 bar. Untuk mencapai temperatur kriogenik yang diinginkan, pada sistem refrigerasi J-T biasanya digunakan lebih dari 3 campuran refrigeran, sedangkan pada penelitian ini hanya digunakan 1 jenis refrigeran yaitu R 22. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Sumeru ternyata mesin refrigerasi J-T dengan refrigeran tunggal dapat mencapai temperatur -60°C sampai dengan -70°C . Salah satu parameter untuk mengetahui kinerja mesin refrigerasi J-T adalah efektifitas penukar kalor (ϵ) yang digunakan. Untuk mengetahui pengaruh jarak koil (*pitch*) terhadap efektifitas penukar kalor, kami melakukan penelitian menggunakan penukar kalor pipa ganda *helical* (*helical double pipe heat exchanger*) dengan 3 variasi ukuran *pitch*, yaitu $p_1 = 0.00 \text{ m}$, $p_2 = 0.005 \text{ m}$ dan $p_3 = 0.008 \text{ m}$. Dari data hasil pengamatan dapat diketahui efektifitas penukar kalor (ϵ) untuk $p_1 = 0.00 \text{ m}$, $p_2 = 0.005 \text{ m}$ dan $p_3 = 0.008 \text{ m}$ berturut-turut adalah : 0.75, 0.83 dan 0.79. Efektifitas tertinggi terjadi pada $p = 0.005 \text{ m}$ yaitu 0.83. Selain itu juga dapat diketahui bahwa dengan *pitch* yang terkecil pencapaian temperatur terjadi paling cepat.

Kata kunci: *Joule-Thomson, heat exchanger, efektifitas.*

Abstract

The Joule Thomson (J-T) refrigeration system currently is being developed for cryogenic application to substitute Linde refrigeration system. The advantage of J-T refrigeration system is lower operating pressure than the Linde refrigeration system. The J-T refrigeration system works in pressure about 20 Bar, while the Linde refrigeration system in about 200 Bar. To get the desire cryogenic temperature, in the J-T refrigeration system, usually used more than 3 mixed refrigerant, whereas in this investigation is only used one refrigerant, that is R 22. Previously Sumeru investigated that in the Joule Thomson refrigeration system with single refrigerant can reach the temperature of -60°C till -70°C . The one of the J-T refrigeration system performance parameters is heat exchanger effectiveness (ϵ). To know the pitch coil effect for the effectiveness, in this research, a helical double pipe heat exchanger is used in three variation of pitches ($p_1 = 0.00 \text{ m}$, $p_2 = 0.005 \text{ m}$, $p_3 = 0.008 \text{ m}$). The results are: the effectiveness (ϵ) of heat exchanger for p_1 , p_2 and p_3 are 0.75, 0.83 and 0.755 respectively. The highest effectiveness is in p_2 that is 0.83. Besides that, the investigation has found that with smallest pitch the chilling time is fastest.

Keywords: *Joule-Thomson, heat exchanger, effectiveness*

1. PENDAHULUAN

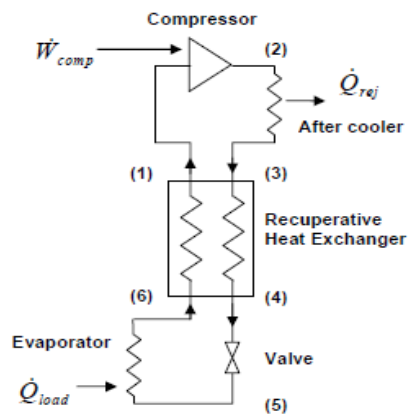
Mesin refrigerasi Joule-Thomson (J-T) adalah salah satu jenis dari beberapa macam mesin refrigerasi bertemperatur sangat rendah. Berbeda dengan mesin refrigerasi kompresi uap yang lebih umum



dipakai saat ini seperti lemari es, penyebar ruangan (AC), gudang pendingin (*cold storage*) dan lain-lain, mesin refrigerasi J-T dapat mencapai suhu lebih rendah sampai di bawah -60°C (Sumeru, Tandi, 2009).

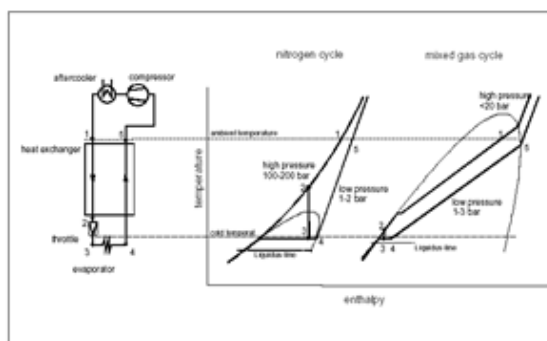
Pada mesin refrigerasi J-T, yang terdiri dari komponen-komponen : kompresor, *aftercooler*, penukar kalor (*counterflow heat exchanger*), katup ekspansi dan evaporator, COP-nya tergantung dari efektifitas dari penukar kalor dan tekanan refrigeran di dalam sistem (Xue at. al, 2001).

Salah satu komponen penting di dalam mesin refrigerasi J-T adalah alat penukar kalor (*heat exchanger*), berupa koil pipa *helical*, dimana terjadi transfer kalor di antara fluida berbeda temperatur yang mengalir dari bagian *aftercooler* dan dari evaporator. Pada Gambar 1 terlihat diagram sistem refrigerasi Joule- Thomson.



Component diagram for a Joule-Thomson cycle.

Gambar 1. Diagram Sistem refrigerasi Joule-Thomson.



Gambar 2. Prinsip kerja dan diagram termodinamikan sistem refrigerasi J-T

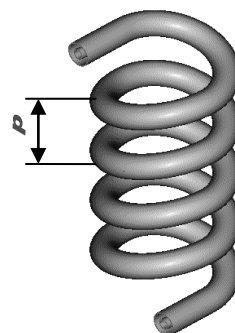
Pada Gambar 2, terlihat perbedaan sistem refrigerasi Linde dan Joule Thomson, dimana kelebihan sistem refrigerasi J-T adalah tekanan kerjanya lebih rendah.

Penukar kalor pipa *helical* juga dapat ditemukan di dalam banyak aplikasi lain seperti pada : pemrosesan makanan, reaktor nuklir, pemanfaatan panas terbuang (*heat recovery system*), proses kimia dan lain-lain (Timothy J.Rennie, 2004). Koil pipa *helical* cocok untuk berbagai proses seperti penukar kalor dan reaktor, karena ia dapat berperan dengan baik sebagai pemindah kalor yang cukup besar dalam ruang yang kecil. Karena perannya yang cukup banyak di dalam berbagai aplikasi, maka kajian tentang karakteristik efektifitas dan perpindahan kalor di dalam *heat exchanger* menjadi hal yang sangat penting untuk diteliti. Prestasi kerja sistem refrigerasi J-T sangat tergantung dari karakteristik perpindahan kalor di dalam *heat exchanger* dengan ditandai oleh kecepatan pencapaian temperatur, temperatur rendah dan lama operasi (Yong-Ju Hong, at al.,2009). Pada penelitian ini akan diamati karakteristik perpindahan kalor dan efektifitas pada *heat exchanger* yang berupa koil pipa ganda *helical* (*helical double pipe heat exchanger*), dengan variabel *pitch* atau jarak antara koil.

2. PEMODELAN SISTEM

2.1. Perhitungan dan penentuan variable

Variabel yang diujikan di dalam penelitian ini, yaitu jarak antara koil (*pitch*) penukar kalor dengan tiga ukuran, yaitu $p_1 = 0.00$ m, $p_2 = 0.05$ m dan $p_3 = 0.08$ m. Masing-masing ukuran *pitch* diteliti pada mesin refrigerasi J-T secara bergantian, dengan kondisi yang sama, seperti ukuran panjang pipa, diameter pipa luar, diameter pipa dalam, jenis refrigeran dan komponen-komponen sistem. Gambar 3 menunjukkan gambar *helical double pipe heat exchanger*.



Gambar 3. Penukar kalor pipa ganda *helical* dengan variable p (*pitch*)



2.2. Langkah-langkah operasi sistem

Adapun langkah-langkah pengoperasiannya adalah :

1. Penentuan variabel *pitch* (*p*) pada koil penukar kalor
2. Pengecekan kondisi mesin dan alat-alat ukur yang digunakan
3. Mesin refrigerasi J-T dijalankan
4. Pengambilan data-data yang diperlukan
5. Mengulangi langkah 1 sampai dengan 4, hingga tiga ukuran variabel *p*

2.3. 2.3 Titik-titik pengukuran

Setelah sistem dioperasikan dengan variabel yang ditentukan, pengambilan data dilakukan, seperti :

- a. Temperatur lingkungan
- b. Temperatur *inlet high pressure* penukar kalor ($T_{h,in}$)
- c. Temperatur *outlet high pressure* penukar kalor ($T_{h,out}$)
- d. Temperatur *inlet low pressure* penukar kalor ($T_{c,in}$)
- e. Temperatur *outlet low pressure* penukar kalor ($T_{c,out}$)
- f. Temperatur evaporator
- g. Debit aliran refrigerant

Sedangkan tekanan yang diukur adalah :

- h. Tekanan *suction*
- i. Tekanan *discharge*
- j. Tekanan masuk TXV
- k. Tekanan keluar TXV
- l. Tekanan keluar evaporator



Gambar 4. Unit mesin refrigerasi Joule Thomson yang digunakan.

2.4 Pengolahan data

Setelah data-data diperoleh, selanjutnya data tersebut diolah. Untuk mendapatkan efektifitas penukar kalor, digunakan persamaan berikut :

$$\varepsilon = \frac{Q_{\text{aktual}}}{Q_{\text{maksimum}}} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

ε = Efektifitas penukar kalor

Q_{aktual} = Kalor dipindahkan [J/s]

Q_{maksimum} = Kalor dipindahkan maks. [J/s]

Q aktual dapat dihitung dari keseimbangan energi pada hubungan fluida panas dan dingin , sehingga didapat :

$$Q_{\text{aktual}} =$$

$$C_c (T_{c,out} - T_{c,in}) = C_h (T_{h,in} - T_{h,out})$$

Dengan $C_c = \dot{m}_c C_{pc}$ dan $C_h = \dot{m}_h C_{ph}$ adalah masing-masing kapasitas kalor (*heat capacity rate*) dari fluida dingin dan fluida panas.

Untuk menghitung Q maksimum, dihitung terlebih dahulu perbedaan suhu maksimum yaitu ,

$$\Delta T_{\text{maks}} = T_{h,in} - T_{c,in} , \text{ sehingga didapat :}$$

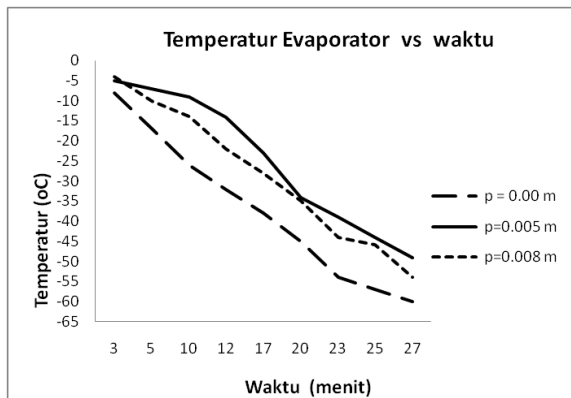
$$Q_{\text{maks}} = C_{\text{min}} (T_{h,in} - T_{c,in})$$

Pada penelitian ini C_{min} dipilih dari perhitungan berdasarkan data dari aliran fluida panas.

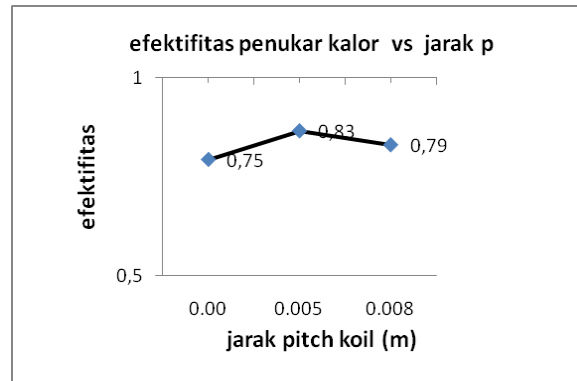
3. HASIL PENGUKURAN DAN DISKUSI

3.1. Temperatur

Pada Gambar 5 terlihat bahwa temperatur terendah yang dapat dicapai adalah -60°C , ini terjadi dengan $p = 0.00 \text{ m}$ di menit ke 27, sementara pada menit yang sama pada $p = 0.005 \text{ m}$ adalah -49°C dan pada $p = 0.008 \text{ m}$ adalah -54°C .



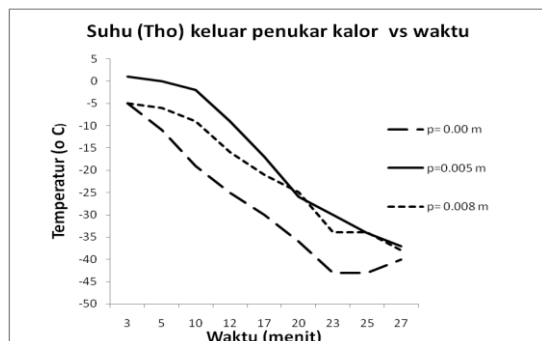
Gambar 5. Temperatur evaporator vs waktu, untuk tiap-tiap jarak *pitch* koil penukar kalor di dalam mesin refrigerasi J-T.



Gambar 7. Efektifitas penukar kalor dengan tiga variasi ukuran jarak *pitch* koil pada mesin refrigerasi Joule Thomson.

3.2. Efektifitas heat exchanger

Penurunan temperatur pada keluaran *heat exchanger* terjadi perbedaan yang cukup berarti. Pada menit ke 23 dengan jarak $p = 0.00$ m tercapai temperatur -43°C , pada waktu yang sama, dengan $p = 0.005$ m hanya -30°C dan dengan $p = 0.008$ m tercapai -34°C . Seperti terlihat pada Gambar 6 di bawah.



Gambar 6. Penurunan temperatur keluar penukar kalor ($T_{h\text{ out}}$) pada variasi jarak *pitch*.

Dengan menggunakan persamaan 1 di atas, didapat efektifitas *heat exchanger* (ϵ) pada $p = 0.00$ m, $p = 0.005$ m dan $p = 0.008$ adalah masing-masing 0.75, 0.83 dan 0.79, seperti terlihat pada Gambar 7 di bawah.

4. KESIMPULAN

Variasi jarak antara (*pitch*) dari 0.00 meter sampai dengan 0.008 meter, pada lilitan koil penukar kalor sistem refrigerasi Joule Thomson tidak begitu besar pengaruhnya pada efektifitas penukar kalor, selisih perbedaan datanya relatif sangat kecil. Efektifitas penukar kalor terbesar terjadi pada *pitch* 0.005 m yaitu 0.83. Penambahan jarak *pitch* (p) sampai 0.008 m, menyebabkan efektifitas penukar kalor sedikit menurun.

Walaupun demikian, terjadi pengaruh yang cukup signifikan pada kecepatan pencapaian temperatur evaporator dengan jarak *pitch* 0.00 m. Pencapaian temperatur evaporator tercepat dan terendah terjadi dengan $p = 0.00$ meter, yaitu -60°C di menit ke 27.

Sistem refrigerasi J-T dengan refrigeran tunggal R-22, ternyata dapat mencapai temperatur evaporator yang cukup rendah sampai -60°C .

Daftar Pustaka

- Alexeev, A., Thiel, A., Haberstroh, Ch., and Quack H., 2003, "Further development of a mixed gas Joule-Thomson refrigerator", Technische Universitaet Dresden.
- Cengel, Y.A, 2005, "Heat Transfer : A Pratical Approach", , 2nd ed., McGraw-Hill
- Holman, J.P., 1986, "Heat Transfer", 6th Ed. , McGraw-Hill Co. – Singapore
- Hong,Yong-Ju, Seong-Je Park, and Young-Don Choi, 2009, "A Numerical Study of the Performance of a Heat Exchanger for a Miniature Joule-Thomson Refrigerator",



- International Cryocooler Conference, Boulder, CO, 379-386
- Incropera, DeWitt, Bergman and Lavine, 2007, "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", Wiley Asia Student Edition, 6th edition
- Sumeru, Tandi S., 2009, "Analisis Pengujian Mesin Pendingin Joule-Thomson Temperatur Rendah Menggunakan Refrigeran *Binary Mixture*", *Jurnal RACE, Jurnal Refrigerasi, Tata Udara dan Energi*, Politeknik Negeri Bandung, Vol.3 No.3, Nov., p.367-375
- Venkatarathnam, G., 2008, "The International Cryogenics Monograph Series", *Cryogenic Mixed Refrigerant Processes*, Springer, India.
- Xue, H., K.C. Ng, J.B. Wang, 2001, "Performance evaluation of recuperative heat exchanger in a miniature Joule-Thomson cooler", *Applied Thermal Engineering* 21, 1829 – 1844, Pergamon