

Pengujian Refrigeran Alami Campuran R170 dan R744 dengan Alat Ekspansi Pipa Kapiler pada Sistem Refrigerasi Cascade Sirkuit Temperatur Rendah

Nasruddin, M. Idrus Alhamid, Darwin R. Budi Syaka dan Arnas

*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424, Indonesia
nasruddin@eng.ui.ac.id*

Abstrak

Dalam pengobatan dan penelitian biomedis dibutuhkan *cold storage* yang dapat mencapai temperatur -80°C dan untuk mencapai temperatur rendah maka digunakan sistem refrigerasi cascade (Wu, Jiangfeng, et all 2007). Selama ini sirkuit temperatur rendah sistem refrigerasi cascade masih menggunakan refrigeran yang mengandung zat perusak ozon atau penyebab pemanasan global (Niu, et all 2006). Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan campuran karbondioksida (R744) dan *ethane* (R170) yang merupakan refrigeran alternatif menjanjikan (Nasruddin dkk 2008 dan 2009). Berdasarkan studi simulasi dan eksperimen bahwa campuran tersebut mampu mencapai temperatur minimum hingga -80°C (Nasruddin dkk 2008 dan 2009). Dengan perbandingan massa 70% R170 dan 30% R744 dan menggunakan alat ekspansi pipa kapiler berdiameter 0,054 inch dan panjang 6 meter maka dihasilkan tekanan ekspansi sebesar 1,88 bar sehingga temperatur refrigeran di dalam evaporator dapat mencapai $-81,1^{\circ}\text{C}$ dan temperatur ruang di dalam kabin $-79,5^{\circ}\text{C}$.

Keywords: Refrigeran, *Ethane*, CO_2 , Cascade, Pipa kapiler

Pendahuluan

Selama ini sirkuit temperatur rendah sistem refrigerasi cascade masih menggunakan refrigeran yang mengandung zat perusak ozon atau penyebab pemanasan global (CFC dan HCFC). Untuk mengatasi hal ini, campuran azeotropis karbondioksida dan *ethane* merupakan refrigeran alternatif yang menjanjikan. Studi simulasi dan eksperimen mengindikasikan campuran karbondioksida dan *ethane* mampu mencapai temperatur minimum hingga -80°C (Nasruddin dkk 2008 dan 2009).

Bila refrigeran alternatif ini digunakan pada suatu sistem refrigerasi, maka setiap komponen sistem harus dirancang kembali untuk mendapatkan keandalan dan efisiensi yang tinggi. Pipa kapiler merupakan alat ekspansi yang umumnya digunakan dalam mesin pendingin ukuran kecil seperti *air conditioning*, refrigerator dan *cold storage*, karena murah, sederhana dan handal (C. Zhang, 2005).

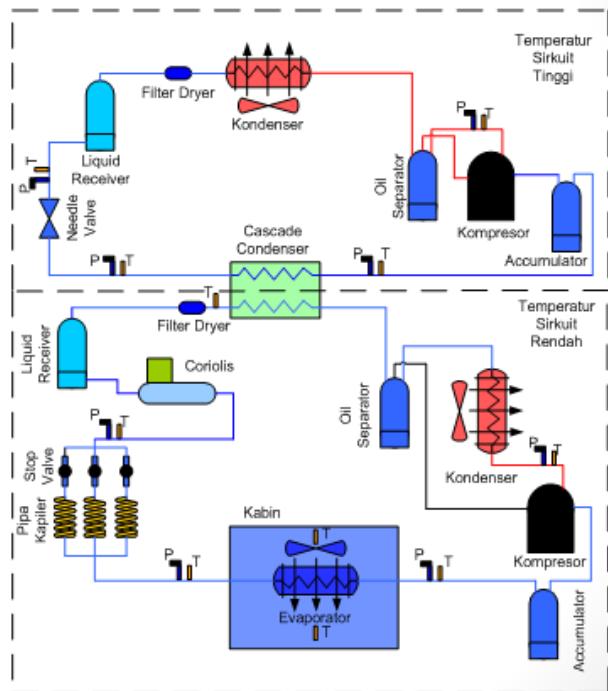
Penelitian ini bertujuan untuk pengembangan *cold storage* temperatur rendah untuk aplikasi di bidang biomedis campuran karbondioksida dan *ethane* yang memiliki efisiensi energi tinggi, dan aman yakni memiliki *flammability* yang rendah dan tidak beracun untuk dipergunakan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade.

Metoda Eksperimen

Mesin refrigerasi cascade ini terdiri dari dua sirkuit refrigerasi, yaitu sebuah sirkuit refrigerasi yang dinamakan sirkuit temperatur tinggi (*High Stage/HS*) yang akan diisi refrigeran ramah lingkungan propane (R290) dan sirkuit temperatur rendah (*Low Stage/LS*) yang akan diisi dengan refrigeran campuran R744/R170 pada komposisi azeotropik.

Refrigeran berada pada siklus tertutup dari sistem Refrigerasi cascade yang terdiri dari kompresor, *oil separator*, kondenser, PHE, *filter dryer*, katup ekspansi, evaporator dan *accumulator*, dapat dilihat pada gambar 1 yang terletak di Universitas Indonesia. Pada posisi *discharge* sirkuit temperatur tinggi Refrigeran dan oli melalui *oil separator* dan hanya Refrigeran yang bertekanan tinggi dengan fase gas yang dapat keluar untuk menuju kondenser. Refrigeran didinginkan dengan temperatur lingkungan sehingga Refrigeran keluar dari kondenser memiliki temperatur yang sama dengan temperatur lingkungan. Setelah melalui kondenser Refrigeran menuju *filter dryer* sebelum masuk kedalam katup ekspansi. Refrigeran diekspansi sesuai dengan temperatur yang dibutuhkan untuk mendinginkan kondenser cascade atau alat penukar kalor antara sirkuit temperatur tinggi dengan sirkuit

temperatur rendah. Alat penukar kalor yang digunakan adalah jenis PHE (*plate heat exchanger*). Keluar dari PHE Refrigeran kembali menuju kompresor. Temperatur yang diukur pada sirkuit temperatur tinggi hanya pada empat posisi yaitu keluar kompresor, keluar kondenser, masuk PHE dan masuk kompresor. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K dengan nilai akurasi pembacaan $\pm 0,14\%$. Sedangkan tekanan yang diukur hanya pada posisi *discharge* dan *suction* dari kompresor. Pengukuran tekanan menggunakan *pressure transmitter* jenis Druck PTX 1400 dengan akurasi pembacaan sebesar $\pm 0,15\%$.



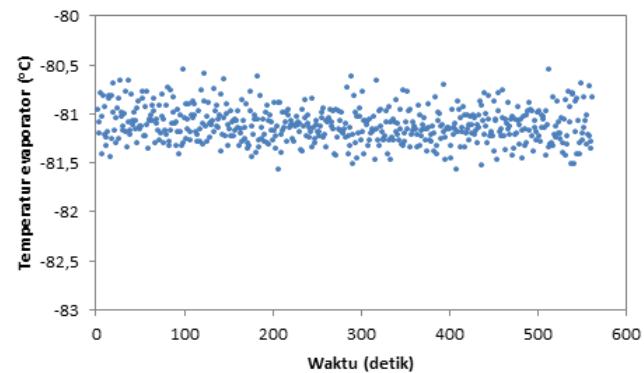
Gambar 1. Skema sistem Refrigerasi cascade

Pada posisi sirkuit temperatur rendah Refrigeran keluar kompresor langsung menuju kondenser untuk didinginkan dengan temperatur lingkungan, ini bertujuan untuk memastikan oli yang masuk menuju oil separator dalam fase *liquid* sehingga tidak terbawa kedalam seluruh sistem. Setelah keluar dari oil separator Refrigeran langsung didinginkan dengan kondenser cascade (PHE) sehingga temperaturnya menjadi rendah. Kemudian Refrigeran melalui *filter dryer* sebelum menuju pipa kapiler untuk diekspansi sesuai dengan temperatur yang diinginkan. Pada sistem sirkuit temperatur rendah ini temperatur yang diinginkan adalah -80°C . Refrigeran dengan temperatur sangat rendah tersebut masuk ke dalam evaporator. Evaporator berada dalam kabin di mana kabin ini terdiri dari kipas untuk meniupkan udara menuju evaporator. Kabin yang digunakan terbuat dari *styrofoam* dengan ketebalan dinding 4 cm. Kemudian refrigeran mengalir menuju *accumulator* sebelum masuk kembali ke dalam kompresor untuk ditekan. Pengukuran temperatur pada sirkuit

temperatur rendah diposisikan pada keluar kompresor, masuk PHE, keluar PHE, sebelum pipa kapiler, masuk evaporator, keluar evaporator, di dalam kabin dan masuk kompresor. Pengukuran temperatur menggunakan termokopel tipe K dengan nilai akurasi pembacaan $\pm 0,14\%$. Untuk pengukuran tekanan ditempatkan pada empat bagian yaitu keluar kompresor, masuk pipa kapiler, keluar pipa kapiler dan masuk kompresor. Pengukuran tekanan menggunakan *pressure transmitter* jenis Druck PTX 1400 dengan akurasi pembacaan sebesar $\pm 0,15\%$. Data yang dapat diperoleh dari hasil pengujian adalah berupa performa sistem refrigerasi berupa tekanan, temperatur dan laju massa. Data yang diperoleh nantinya dapat digunakan sebagai parameter disain dan operasi sistem refrigerasi cascade.

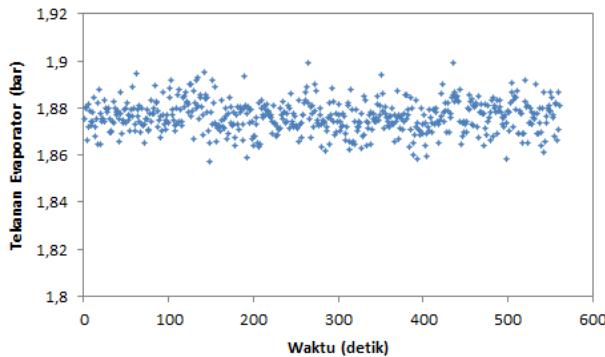
Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengambilan data ini sudah berupa nilai rat-rata dari tiga kali pengambilan data dengan menggunakan parameter yang sama yaitu menggunakan alat ekspansi pipa kapiler dengan diameter 0,054 inch dan panjang 6 meter kemudian tekanan ekspansi sirkuit temperatur tinggi yaitu 1,9 bar. Data yang digunakan adalah data yang telah stabil dari sistem refrigerasi cascade. Terlihat pada gambar 2 di bawah ini bahwa dengan menggunakan refrigeran campuran *ethane* dan CO_2 dengan komposisi perbandingan fraksi massa sebesar 70% dan 30% maka temperatur refrigeran di dalam evaporator dapat mencapai temperatur minimum $-81,1^\circ\text{C}$.



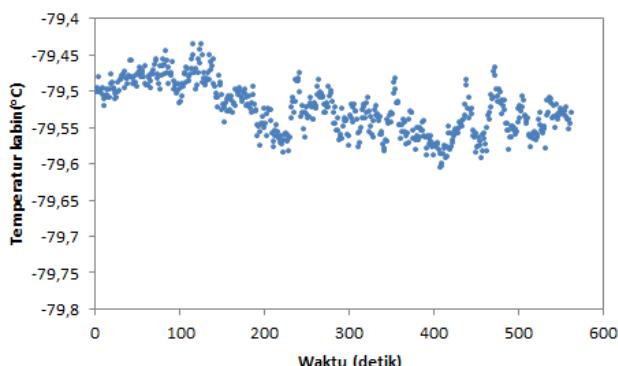
Gambar 2. Temperatur refrigeran di dalam evaporator.

Dibutuhkan waktu 3 sampai 4 jam untuk mencapai temperatur minimum yaitu $-81,1^\circ\text{C}$. Tekanan pada evaporator terjaga konstan pada nilai 1,88 bar dan ini menunjukkan pipa kapiler cukup handal sebagai alat ekspansi pada sistem refrigerasi sirkuit temperatur rendah yang menggunakan refrigeran campuran *ethane* dan karbodioksida. Nilai tekanan evaporator yang konstan dapat di lihat pada gambar 3 di bawah.



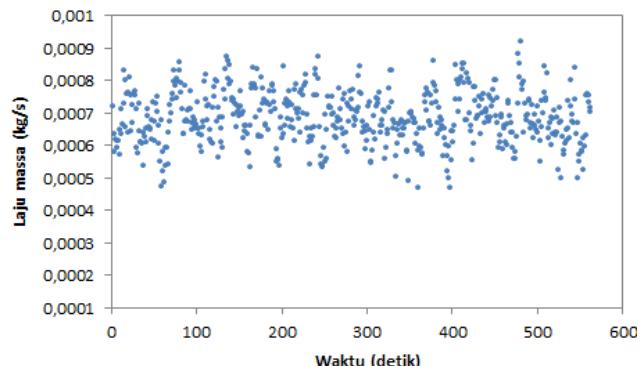
Gambar 3. Tekanan refrigeran di dalam evapor (tekanan ekspansi)

Dengan prototipe mesin refrigerasi cascade ini kemudian menggunakan refrigeran campuran *ethane* dan karbodioksida maka temperatur ruangan di dalam kabin dapat mencapai temperatur minimum yaitu $-79,6^{\circ}\text{C}$. Dari gambar 4 terlihat temperatur kabin atau ruang penyimpanan dingin tidak stabil dikarenakan isolasi yang masih kurang handal dalam menjaga pengaruh temperatur lingkungan terhadap temperatur ruang di dalam kabin.



Gambar 4. Temperatur udara di dalam kabin

Pada sistem refrigerasi cascade sirkuit rendah ini menggunakan 220 gram refrigeran campuran *ethane* dan CO_2 . Dari total massa yang di masukan ke dalam sistem dapat di lihat laju massanya pada gambar 5 di mana dengan rentang nilai dari 5×10^{-5} kg/s sampai dengan 9×10^{-5} kg/s dan jika dirata-rata maka laju massanya yaitu $6,9 \times 10^{-5}$ kg/s. Dari gambar dapat terlihat saat sistem sudah stabil tidak terjadi pemampatan yang disebabkan oleh pembekuan refrigeran CO_2 pada temperatur di bawah -56°C . Pemampatan yang biasanya terjadi pada campuran refrigeran *ethane* dan karbodioksida dapat terlihat dari nilai laju massa refrigerannya dalam waktu tertentu bernilai nol.



Gambar 5. Laju massa refrigeran

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, dengan perbandingan massa 70% R170 dan 30% R744 dan menggunakan alat ekspansi pipa kapiler berdiameter 0,054 inch dan panjang 6 meter maka dihasilkan tekanan ekspansi sebesar 1,88 bar sehingga temperatur refrigeran di dalam evaporator dapat mencapai $-81,1^{\circ}\text{C}$ dan temperatur ruang di dalam kabin $-79,5^{\circ}\text{C}$.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh Hibah Kompetensi Tahun 2012, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional, Republik Indonesia.

Referensi

- [1] Wu. Jianfeng, Gong. Maoqiong, Zhang. Yu, 2007, *Refrigerant mixtures used in the lower temperature stage of two-stage cascade refrigeration systems*, USPTO Applicaton #: 20070007487 - Class: 252067000 (USPTO).
- [2] Niu, Boulian, Zhang, Yufeng, 2006, *Experimental Study of the Refrigeration Cycle Performance for R744/R290 Mixtures*, International Jurnal Of Refrigeration, 30(2007):37-42
- [3] Darwin Rio Budi Syaka, Nasruddin, 2008, *Analisa Thermodinamika Pemilihan Refrigeran Pada Sistem Refrigerasi Cascade*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-VII, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, 4 – 6 November.
- [4] Nasruddin, Dedeng Rachmat, Lubi Rahadiyan, 2009, *Utilization of CO₂/Ethane Mixture as a New Alternative of Eco-Friendly Refrigerant for Low Temperature Applications*, International Conference Of Saving Energy In Refrigeration And Air-Conditioning, Departemen Teknik Mesin Fakultas

- Teknik-Universitas Indonesia, Depok, January 14 – 17
- [5] Nasruddin, Darwin Rio Budi Syaka, 2009, *Thermodynamics Analysis Of Refrigerant Selection In Cascade Refrigeration System*, International Conference Of Saving Energy In Refrigeration And Air-Conditioning, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Depok, January 14 – 17
- [6] Nasruddin, 2008, *Utilization Of CO₂/Ethane Mixture As A New Alternative Of Eco-Friendly Refrigerant For Low Temperature Applications*, Report Research, Osaka Gas Fondation Of International Cultural Exchange Japan, Department Of Mechanical Engineering, Faculty Of Engineering, University Of Indonesia, Depok
- [7] C. Zhang, 2005, Generalized correlation of refrigerant mass flow rate through adiabatic capillary tubes using artificial neural network, International Journal of Refrigeration 28 (2005) 506–514
- [8] Tianing. Ni Wayan, Sumitro, Sulistyowati dan Muliartha, 2002, *Gambaran Histopatologi Dan Amplifikasi Gen Atipase 6, 8 Serta Cox Iii Pada mtDNA Dari Jaringan Kanker Payudara*, Biosain, Vol. 2, No. 2, Agustus 2002
- [9] ASHRAE Handbook, 2006, *Refrigeration System and Applications (SI)*, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer, Atlanta, Georgia.
- [10] Nasruddin, Edi Hamdi, 2003, *Natural Refrigerants in Indonesia : Challenge and Opportunity*, Presented in ISSM Delft, The Netherland.
- [11] Cengel. Yunus.A, Boles. Michael, 1998, "Thermodynamics An Enfineering Approach", Third Edition, Mcgraw-Hill, International Edition
- [12] Reinholdt. Lars, Andreasen. Marcin. Blazniak, 2007, Industrial Freezers For Food Utilizing CO₂Part 2: Development And Testing Of A CO₂ Cascade System, Spiral Freezer And Ice-Cream Freezer, International Congress of Refrigeration, ICR07-B2-454, Beijing, 2007
- [13] Nasruddin, Donni Redford, 2008, *Pengujian Mesin Refrigerasi Cascade Menggunakan R22-R404A Dengan Variasi Tekanan Pada Low-Stage*, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok
- [14] Lee. Tzong. Shing, Liu. Cheng-Hao, Chen. Tung-Wei, 2006, *Thermodynamic Analysis Of Optimal Condensing Temperature Of Cascade-Condenser In CO₂/NH₃ Cascade Refrigeration Systems*, International Jurnal Of Refrigeration, 29 (2006):1100-1108
- [15] Gettu. H.M, Bansal. P.K, 2008, *Thermodynamic analysis of an R744-R717 cascade refrigeration system*, International Jurnal Of Refrigeration, 31 (2008):45-54
- [16] Cox.N, 2007, Working towards more environmentally friendly Refrigerant Blends, 12th European Conference, Milano, Italy, Juni 8 – 9, 2007
- [17] Nicola. Giovani. Di, Giuliani. Giuliano, Polonara. Fabio, Stryjek. Roman, 2005, *Blends of carbon dioxide and HFCs as working fluids for the low-temperature circuit in cascade refrigerating systems*, International Jurnal Of Refrigeration, 28 (2005):130-140
- [18] Niu, Boulian, Zhang, Yufeng, 2006, *Experimental Study of the Refrigeration Cycle Performance for R744/R290 Mixtures*, International Jurnal Of Refrigeration, 30(2007):37-42