

Performa Sistem *Autocascade* dengan Menggunakan Karbondioksida sebagai Refrigeran Campuran

Nasruddin, Ardi Yuliono* dan Darwin Rio Budi Syaka
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424

Abstract

Most refrigeration systems today use refrigerant which causes ozone depletion or global warming. Therefore, alternative natural refrigerants are highly required. One potential candidate is CO₂. However, high pressure of CO₂ limits its application in conventional refrigeration system. To solve this problem, a low investment cost of autocascade refrigeration system is used. This research investigated autocascade refrigeration system using a mixture of CO₂ (R744) and R12, in comparison with environmentally friendly refrigerant mixture of CO₂ (R744) and R600a. The parameters analyzed were (1) evaporation temperature, (2) condensation temperature, (3) suction temperature, (4) discharge temperature, (5) suction pressure, and (5) discharge pressure. The experiment results showed that an increase of CO₂ concentration by 10% or more in the autocascade refrigeration system could raise system pressure. Therefore, the increase of CO₂ pressure should be within the allowable limit of the working pressure of the compressor.

Keywords: autocascade, refrigerant, CO₂, R12, R600a, compressor

Abstrak

Sistem refrigerasi yang saat ini digunakan sebagian besar masih menggunakan refrigeran yang mengandung zat perusak ozon atau penyebab pemanasan global. Karena itu, diperlukan alternatif refrigeran alamiah, yang salah satunya adalah CO₂. Namun tingginya tekanan CO₂ membatasi penggunaannya pada sistem refrigerasi konvensional. Solusi untuk mengatasi hal itu, dengan biaya investasi yang relatif rendah, adalah dengan menggunakan sistem refrigerasi *autocascade*. Penelitian ini mempelajari sistem refrigerasi *autocascade* menggunakan beberapa variasi campuran CO₂ (R744) dengan R12 untuk dibandingkan dengan campuran refrigerant alternatif ramah lingkungan yaitu campuran CO₂ (R744) dengan R600a. Parameter yang dianalisa antara lain (1) suhu evaporasi, (2) suhu kondensasi, (3) suhu *suction*, (4) suhu *discharge*, (5) tekanan *suction*, dan (5) tekanan *discharge*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan komposisi CO₂ sebesar 10% atau lebih dalam sistem refrigerasi *autocascade* dapat menaikkan tekanan kerja sistem. Oleh karena itu, penambahan komposisi CO₂ tersebut harus masih di dalam batas-batas toleransi tekanan kerja kompresor yang diijinkan.

Kata kunci: *autocascade*, refrigeran, CO₂, R12, R600a, kompresor

Pendahuluan

Perkembangan sistem refrigerasi menuntut perkembangan penggunaan refrigeran. Selama ini refrigeran jenis CFC (*chloro-flouro-carbon*) dipilih karena memiliki sifat termal dan fisik yang baik yakni: tidak mudah terbakar (*non-flammable*), tidak beracun, ekonomis, dan sesuai dengan sebagian besar komponen sistem refrigerasi. Akan tetapi dengan semakin meningkatnya kesadaran mengenai perlindungan lingkungan, penggunaan CFC semakin dibatasi. Protokol Montreal mengatur bahwa produksi dan penggunaan CFC telah dihapuskan pada tahun 2010, berkaitan dengan fakta bahwa CFC merusak lapisan ozon. Sementara itu, refrigeran alternatif *hydro-flouro-carbon* (HFC) walaupun tidak merusak ozon, namun berpotensi me-

nyebabkan pemanasan global sehingga perlu dicari refrigeran alternatif, yang diarahkan pada refrigeran alamiah. Salah satu kandidat yang mungkin dapat digunakan adalah karbondioksida (CO₂).

CO₂ memiliki beberapa keunggulan, diantaranya tidak beracun, tidak dapat terbakar (*non-flammable*), mudah didapat, tidak merusak ozon dan memiliki potensi pemanasan global yang rendah (Cox. N., 2007). Akan tetapi CO₂ sebagai refrigeran (R744) mempunyai kelemahan, yakni tidak dapat digunakan dalam sistem refrigerasi biasa karena sifat alamiahnya yang menghendaki tekanan yang tinggi. Sehingga sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran CO₂ harus dirancang sebagai sistem refrigerasi *transcritical*. Salah satu cara untuk mengatasi hal ini adalah dengan menggunakan sistem refrigerasi *cascade* dua tingkat (*two-stage cascade refrigeration*

* Alamat korespondensi: e-mail: ardi_px@yahoo.co.id

system), yaitu sistem refrigerasi yang menggunakan refrigeran karbon dioksida didinginkan oleh sistem refrigerasi yang lain (Reinholdt dkk., 2007). Pengalaman menggunakan sistem refrigerasi *cascade* menggunakan propana (R290) di sirkuit suhu tinggi dan karbondioksida (R744) di sirkuit suhu rendah untuk keperluan supermarket membuktikan bahwa konsumsi energi berkurang rata-rata sekitar 5% dibandingkan sistem konvensional (sistem 404A), meskipun investasi yang dibutuhkan 20% lebih tinggi, tetapi diperkirakan akan menjadi 10% atau lebih rendah di masa datang (Christensen dkk., 2003). Namun sistem refrigerasi *cascade* ini menjadi terlalu rumit dan mahal karena memerlukan minimal dua buah kompresor.

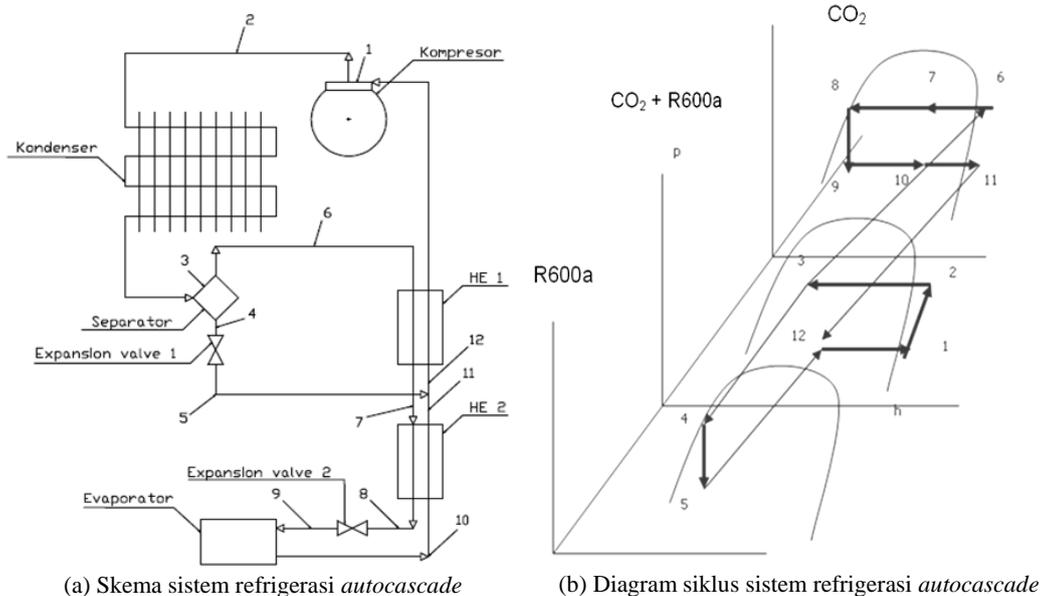
Solusi lain untuk mengatasi tingginya tekanan CO₂ dengan biaya investasi yang lebih rendah adalah dengan menggunakan sistem refrigerasi *autocascade*. Sistem refrigerasi *autocascade* adalah suatu sistem refrigerasi yang bekerja berdasarkan penggunaan campuran refrigeran yang berbeda titik didihnya (zeotropis) (ASHRAE handbook, 2006). Sistem refrigerasi *autocascade* ini hanya menggunakan satu kompresor sehingga memiliki bentuk yang sederhana, handal, dan murah (Yu, 2008). Kim dkk. (2002) menyelidiki kemampuan sistem refrigerasi *autocascade* menggunakan campuran refrigeran CO₂ (R744) dengan R134a atau R290. Hasil percobaan mereka menunjukkan bahwa ketika komposisi R744 dalam campuran

refrigeran bertambah, maka efek pendinginannya juga bertambah, namun kinerja (diukur dalam *coefficient of performance / COP*) berkurang seiring dengan naiknya tekanan kompresor dalam mesin pendingin. Berdasarkan hal tersebut, maka untuk menaikkan COP perlu dicari refrigeran yang memiliki tekanan lebih rendah daripada R134a atau R290. Salah satu refrigeran alamiah yang dapat digunakan adalah isobutana (R600a).

Penelitian ini mempelajari sistem refrigerasi *autocascade* menggunakan beberapa variasi campuran CO₂ (R744) dan R12 atau isobutana (R600a). Pemilihan R12 berkaitan dengan spesifikasi kompresor yang digunakan sehingga dapat diketahui perbandingan performanya jika dibandingkan dengan refrigeran alamiah R600a yang diharapkan akan menggantikannya.

Metode Penelitian

Alat uji yang digunakan untuk melakukan pengujian merupakan mesin pendingin *autocascade separator* tunggal dengan dua penukar kalor *cascade* seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Campuran refrigeran dikompresi dengan menggunakan kompresor *hermetic* samsung D330H-L1Z2 untuk refrigeran R12 dengan daya maksimum 115 watt. Refrigeran yang keluar dari kompresor selanjutnya didinginkan oleh kondenser dengan pendinginan alamiah. Setelah sebagian campuran refrigeran bertekanan rendah dikondensasi,



Gambar 1. Diagram siklus teoritis mesin pendingin *autocascade*

dalam hal ini adalah R12 atau isobutana (R600a), selanjutnya campuran refrigeran yang memiliki titik didih yang berbeda tersebut dipisahkan antara fase gas dengan fase cairnya pada separator refrigeran. Cairan refrigeran yang telah dipisahkan ini yakni R12 atau isobutana (R600a), kemudian diekspansi oleh alat ekspansi I untuk mengondensasi uap campuran refrigeran yang sebagian besar merupakan CO₂ (R744) di penukar kalor I. Setelah itu kembali campuran refrigeran ini didinginkan oleh refrigeran yang keluar dari evaporator di penukar kalor II untuk mengondensasi uap campuran refrigeran lebih lanjut. Alat ekspansi II kemudian akan menghasilkan suhu terendah pada evaporator.

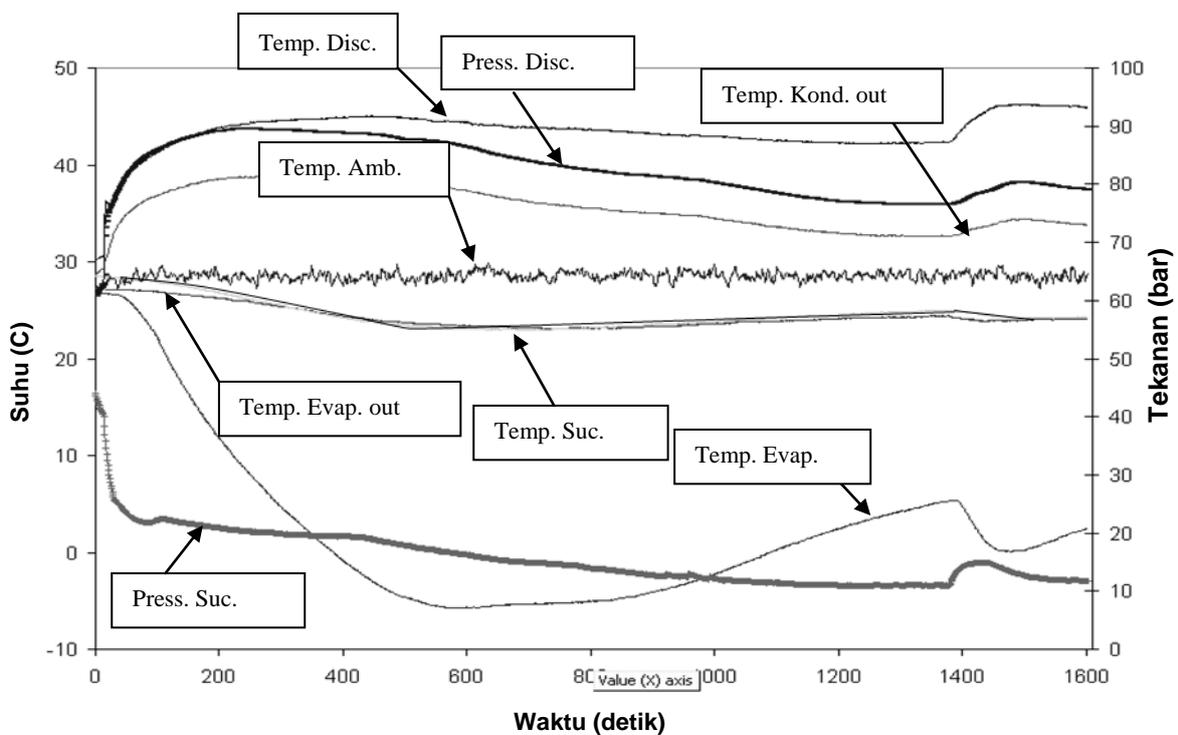
Delapan buah *thermokopel* tipe K dipasangkan pada lokasi tertentu dan dua buah *pressure transmitter* masing-masing satu buah Druck PTX 1400 (maksimum pengukuran 60 bar) diletakkan pada sisi *discharge* kompresor dan satu yang lainnya adalah Siemens Sitrans P series (maksimum pengukuran 16 bar) diletakkan pada sisi *suction* kompresor. Masukan data ini dicatat dalam *data Acquisition ADAM-4318* tiap-tiap detik hingga sistem *steady state* untuk mengetahui dan menentukan kondisi operasi

sistem refrigerasi *autocascade* ini. Daya listrik kompresor diukur menggunakan *powermeter* Yokogawa W1010.

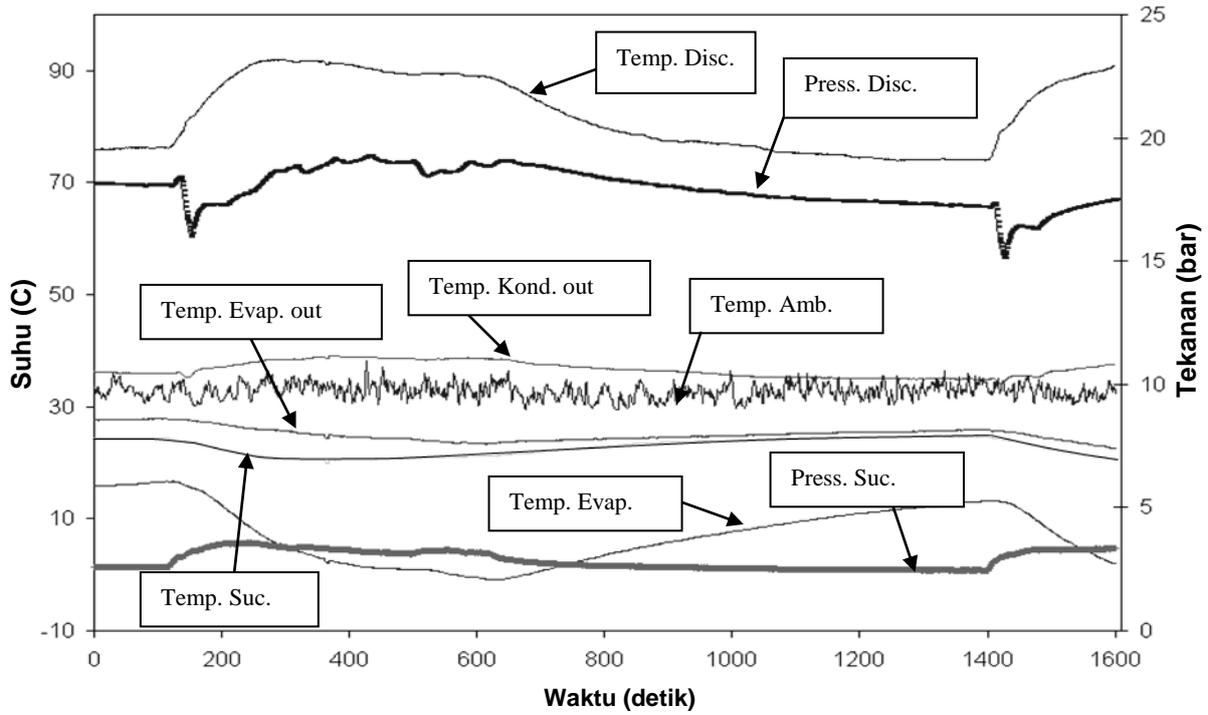
Alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang digunakan bertipe *coil and shell* dengan arah aliran *counterflow*. Alat ekspansi yang dipasang dalam penelitian ini adalah pipa kapiler diameter ¼ in dengan panjang pipa kapiler I adalah 15 m dan panjang pipa kapiler II adalah 15 m. Percobaan dilakukan dengan berbagai variasi massa campuran refrigeran antara R12/ R744 dan R600a/ R744. Total massa refrigeran yang digunakan yaitu 100 gram. Adapun variasi komposisi campuran refrigeran yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1 Variasi komposisi campuran refrigeran

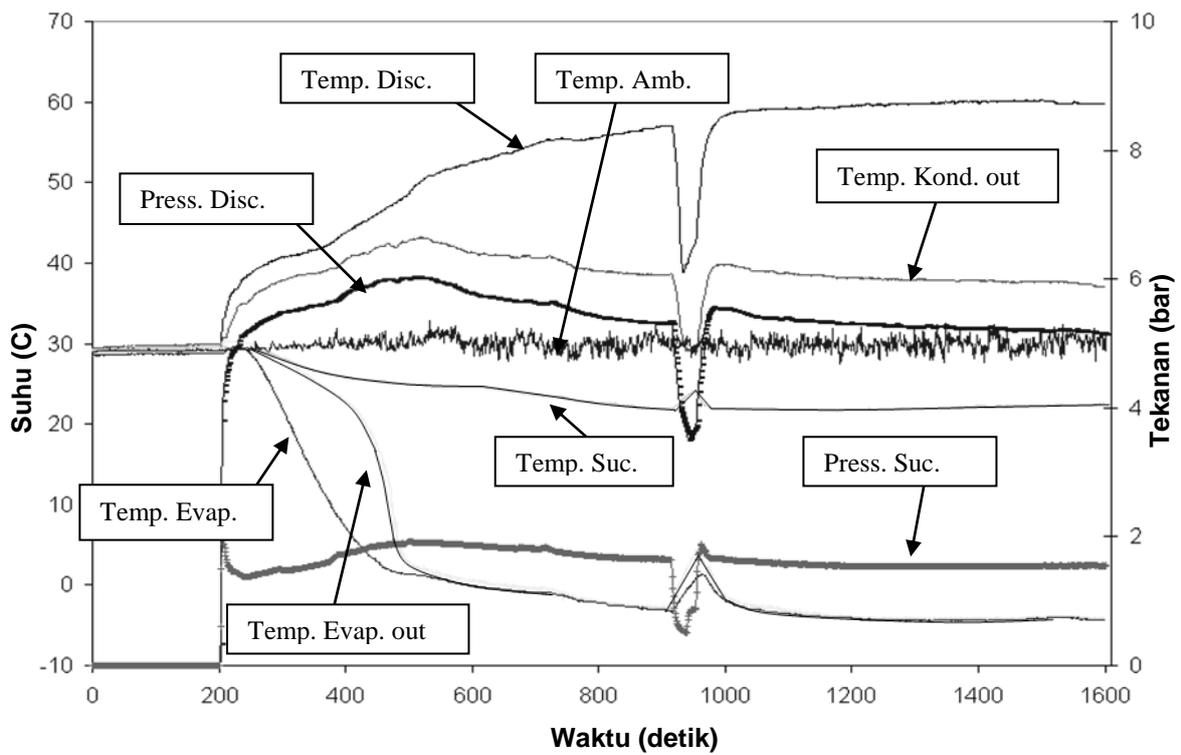
Komposisi	R12 (g)	R744 (g)	R600a (g)
I	100	-	-
II	90	10	-
III	80	20	-
IV	-	-	100
V	-	10	90
VI	-	20	80



Gambar 2. Grafik kondisi sistem refrigerasi autocascade 100 gram R12



Gambar 3. Grafik kondisi sistem refrigerasi *autocascade* 90 gram R12 + 10 gram R744



Gambar 4. Grafik kondisi sistem refrigerasi *autocascade* 100 gram R600a

Hasil dan Pembahasan

Percobaan dengan Refrigeran R12

Gambar 2 menunjukkan hasil uji coba dengan refrigeran berkomporsi 100 gram R12. Pada detik ke-1400 tekanan *discharge* cenderung naik karena jumlah refrigeran yang terkondensasikan menjadi fase *liquid* lebih banyak dibandingkan refrigeran gas. Hal ini menyebabkan refrigeran liquid dapat terbawa ke atas menuju *heat exchanger*. Keadaan ini menyebabkan kerja kompresor menjadi lebih berat. Akibatnya, tekanan *discharge* naik yang diikuti pula dengan kenaikan tekanan *suction* pada kompresor. Naiknya tekanan *discharge* dan *suction* ini kemudian diikuti dengan kenaikan suhu *discharge* dan suhu evaporator.

Pada komposisi 80 gram R12 / 20 gram R744 hasil pengukuran tidak dapat ditampilkan karena pada saat refrigeran dimasukkan ke dalam sistem, kompresor tiba-tiba berhenti bekerja karena tekanan di *suction* melebihi 7 bar, yang merupakan batas *overload protector* pada kompresor.

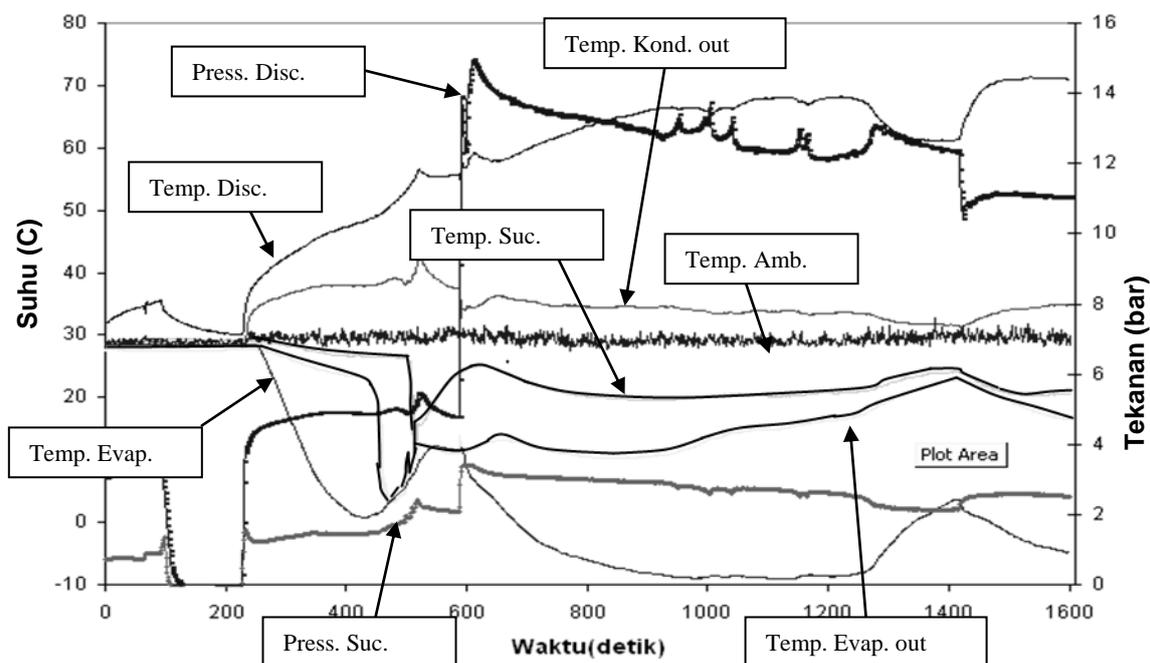
Percobaan dengan Refrigeran R600a

Gambar 4 menunjukkan kondisi sistem *autocascade* menggunakan refrigeran 100 gram R600a. Dari gambar 4 tersebut terlihat bahwa pada detik ke-900 baik tekanan maupun suhu di hampir semua titik turun. Hal ini disebabkan jumlah refrigeran dalam bentuk gas yang keluar dari evaporator lebih banyak sehingga kerja

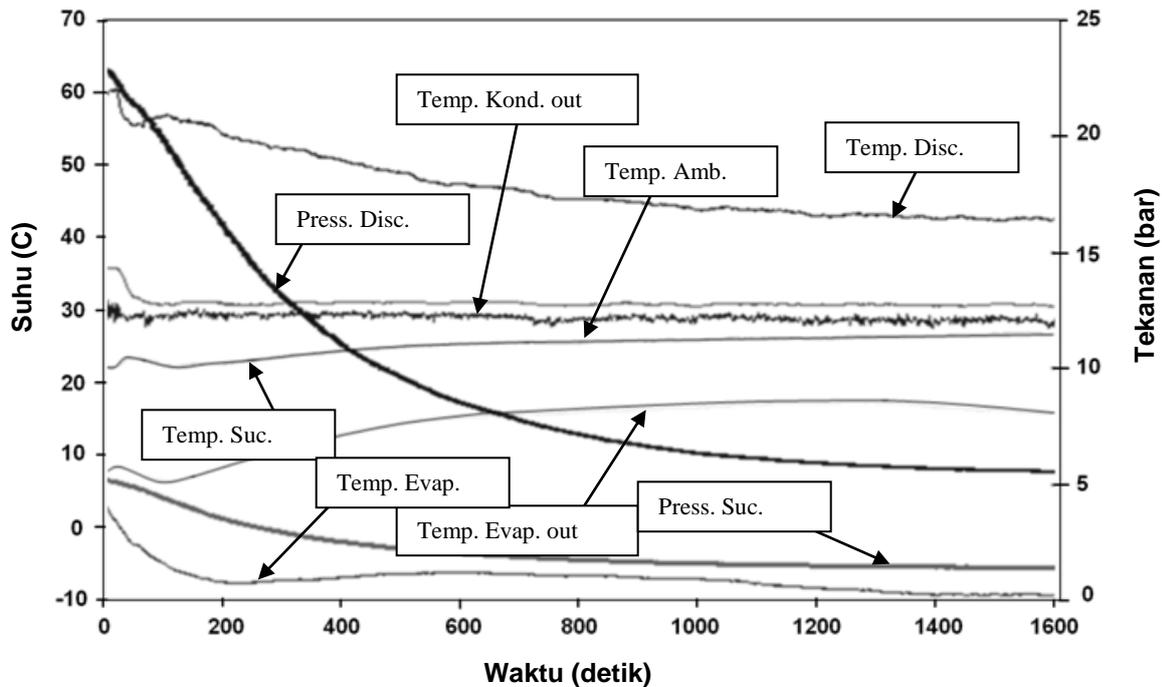
kompresor menjadi lebih ringan. Selain itu refrigeran gas yang terpisahkan di separator jumlahnya juga lebih banyak dan masuk ke atas menuju penukar kalor. Akan tetapi kejadian tersebut tidak berlangsung lama. Tekanan dan suhu naik kembali dan cenderung stabil, karena pemisahan refrigeran di separator terjadi dengan sempurna.

Gambar 5 memperlihatkan hasil uji coba dengan campuran refrigeran 90 gram R600a dan 10 gram R744. Gambar 5 menunjukkan bahwa suhu dan tekanan setiap titik secara keseluruhan berfluktuasi karena refrigeran yang keluar dari kondenser tidak tercampur sempurna akibat perbedaan titik kondensasi masing-masing refrigerannya. Pada detik ke-100 tekanan *discharge* turun drastis karena jumlah refrigeran cair yang terpisahkan pada separator lebih banyak dan kemungkinan ada yang ke atas menuju *heat exchanger*. Secara bertahap tekanan *discharge* kemudian naik karena refrigeran fase gas pada campuran lebih banyak yang masuk ke kompresor dan separator.

Gambar 6 menggambarkan sistem *autocascade* pada campuran refrigeran 80 gram R600a dan 20 gram R744. Dari Gambar 6 tersebut terlihat bahwa suhu dan tekanan pada setiap titik secara keseluruhan stabil karena pemisahan campuran refrigeran keluar kondenser berlangsung cukup sempurna. Refrigeran fase gas pada campuran cukup banyak masuk ke evaporator.



Gambar 5. Grafik kondisi sistem refrigerasi *autocascade* 90gram R600a +10gram R744



Gambar 6. Grafik kondisi sistem refrigerasi *autoscascade* 80gram R600a + 20gram R744

Suhu keluar kondensator cukup stabil karena campuran refrigeran mempunyai titik kondensasi yang hampir sama, sehingga bisa dikatakan sistem bekerja sempurna. Suhu keluar evaporator juga cenderung stabil karena campuran refrigeran keluar evaporator pada fase gas relatif homogen.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan sistem refrigerasi *autoscascade* pada beberapa variasi komposisi campuran refrigeran R12, R744 dan R600a, dapat ditarik kesimpulan antara lain :

1. Refrigeran karbondioksida dapat digunakan pada sistem refrigerasi *autoscascade*, sebagai pengganti refrigeran baik jenis CFC maupun HFC.
2. Suhu evaporasi pada campuran isobutana (R600a) dengan karbon dioksida (R744) lebih rendah dibandingkan dengan campuran refrigeran R12 dan R744, sehingga refrigeran campuran R600a dan R744 dapat menggantikan campuran refrigeran R12 dan R744.
3. Percobaan sistem *autoscascade* dengan komposisi campuran refrigeran 80 gram R12 dan 20 gram R744 tidak dapat dilakukan karena pada saat refrigeran dimasukkan dalam sistem tiba-tiba tekanan *suction* kompresor melebihi batas *overload protector*.
4. Kondisi sistem refrigerasi *autoscascade* dengan campuran refrigeran 80 gram R600a

dan 20 gram R744 bekerja pada performa yang diinginkan yaitu bekerja dengan suhu dan tekanan yang stabil.

Keterangan Gambar

Press. Disc.	: Pressure discharge
Press. Suc.	: Pressure suction
Temp. Disc.	: Suhu discharge
Temp. Kond. Out	: Suhu keluar kondensator
Temp. Evap.	: Suhu evaporator
Temp. Evap. Out	: Suhu keluar evaporator
Temp. Amb.	: Suhu ambient

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Kompetitif Penelitian Sesuai Prioritas Nasional 2009, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional.

Daftar Pustaka

- ASHRAE Handbook, 2006. Refrigeration System and Applications (SI), American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineer, Atlanta, Georgia.
- Christensen. Kim. G, Bertilsen. P., 2003. Refrigeration Systems in Supermarkets with Propane and CO₂ – Energy Consumption and Economy, Proceedings International Congress Of Refrigeration, ICR0131, Washington, DC , USA, 2003.

- Cox. N., 2007. Working Towards More Environmentally Friendly Refrigerant Blends, 12th European Conference, Milano, Italy, Juni 8 – 9, 2007.
- Kim. S. G., Kim. M. S., 2001. Experiment and Simulation on The Performance of An Autocascade Refrigeration System Using Carbon Dioxide as A Refrigerant, International Journal of Refrigeration, 25 (2002) : 1093 – 1101.
- Reinholdt. Lars, Andreasen. Marcin. Blazniak, 2007. Industrial Freezers for Food Utilizing CO₂ Part 2: Development and Testing of A CO₂ Cascade System, Spiral Freezer and Ice-Cream Freezer, International Congress of Refrigeration, ICR07-B2-454, Beijing, 2007.
- Yu. Jianlin, Zhao. Hua, Li. Yanzhong, 2008. Application of An Ejector in Autocascade Refrigeration Cycle for The Performance Improvement, International Journal Of Refrigeration, 31 (2008):279-28.