

PENGARUH PERUBAHAN KOMPOSISI REFRIGERAN CAMPURAN CO₂/ETHANE DALAM SISTEM REFRIGERASI CASCADE

Darwin Rio Budi Syaka, Nasruddin dan M. Idrus Alhamid

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
E-mail: darwin_syaka@yahoo.com

ABSTRACT

Cold storage untuk kebutuhan biomedis disyaratkan dapat mencapai -80°C dan untuk itu digunakan sistem refrigerasi cascade (Tianing et al, 2002). sistem refrigerasi cascade masih menggunakan refrigeran CFC dan HCFC. Campuran azeotropis karbondioksida dan ethane merupakan refrigeran alternatif yang menjanjikan. Studi simulasi dan eksperimen mengindikasikan campuran karbondioksida dan ethane mampu mencapai temperatur -80°C (Darwin et.al, 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Hal ini diduga karena adanya perubahan komposisi saat refrigeran campuran bersirkulasi dalam sistem refrigerasi. Hal ini dibuktikan oleh Kim el al. (2007) yang melakukan studi campuran CO₂/propane mendapatkan bahwa komposisi CO₂ lebih besar 0,03 (fraksi mole) daripada komposisi pengisinya. Berdasarkan hal tersebut maka penelitian ini akan berkonsentrasi pada pengaruh perubahan komposisi refrigeran yang bersirkulasi terhadap kinerja mesin refrigerasi cascade melalui metode eksperimen. Penelitian ini akan mendapatkan komposisi optimal campuran karbondioksida dan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade..

Keywords: Cascade, Komposisi, CO₂, Ethane

1. Pendahuluan

Dalam pengobatan dan penelitian biomedis dibutuhkan *cold storage* yang dapat mencapai temperatur -80°C dan untuk mencapai temperatur rendah maka digunakan sistem refrigerasi *cascade* (Tianing et al, 2002). 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 tersebut, 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 (Darwin et.al, 2008). Namun demikian, temperatur minimum tersebut masih belum stabil. Hal ini diduga karena adanya perubahan komposisi saat refrigeran campuran bersirkulasi dalam sistem refrigerasi.

Perubahan komposisi refrigeran pada akan mempengaruhi sistem refrigerasi. Studi variasi komposisi R32/R134a yang dilakukan oleh Kim et all (2008) memperlihatkan bahwa peningkatan komposisi R32, akan meningkatkan kapasitas pendinginan

sedangkan COP optimum pada kondisi tertentu berkaitan dengan adanya pengaruh glide temperatur. Komposisi campuran refrigeran yang bersirkulasi dalam sistem refrigerasi tidak selalu konstan. Hal ini dibuktikan oleh Kim et al. (2008) yang melakukan studi campuran CO₂/propane mendapatkan bahwa kompsisi CO₂ lebih besar 0,03 (fraksi mole) daripada komposisi pengisinya.

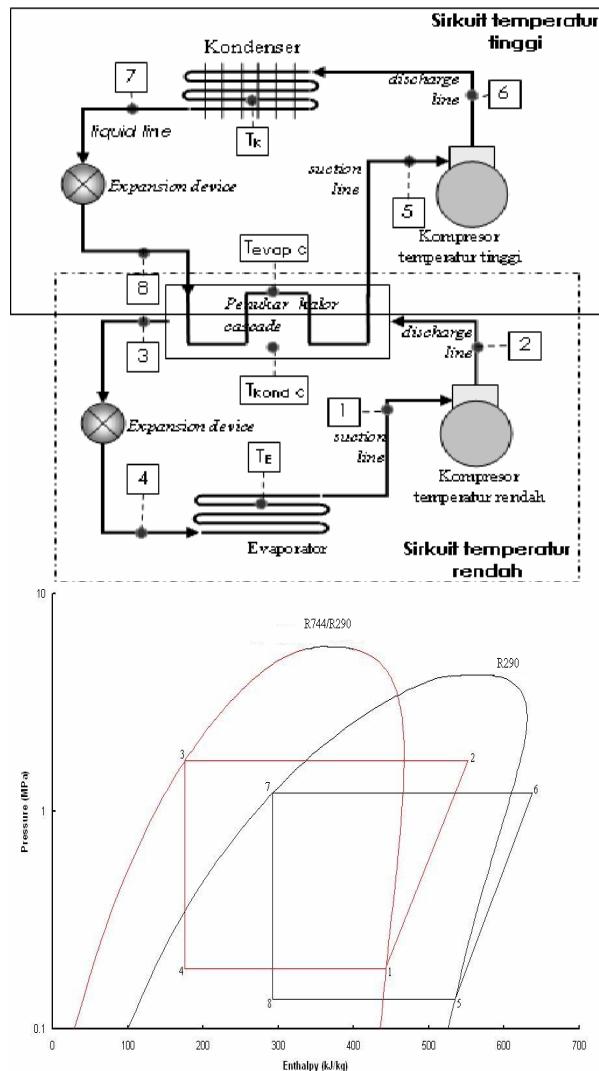
Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut meperlihatkan bahwa ada perbedaan antara komposisi pengisian dan sirkulasi. Jika kosentrasi sirkulasi tidak diketahui, maka tidak mungkin mengevaluasi sistem untuk menentukan kapasitas, efesiensi dan perpindahan panasnya.

Penelitian ini akan berkonsentrasi pada pengaruh perubahan komposisi refrigeran yang bersirkulasi terhadap kinerja mesin refrigerasi cascade dalam rangka untuk mendapatkan komposisi optimal campuran karbondioksida dan ethane yaitu komposisi yang memiliki efesiensi energi tinggi, dan aman yakni memiliki *flammability* yang rendah dan tidak beracun untuk dipergunakan dalam sirkuit temperatur rendah pada sistem refrigerasi cascade.



2. Metode Penelitian

Alat uji yang akan digunakan untuk melakukan pengujian adalah mesin refrigerasi cascade yang tersedia di Laboratorium Teknik Pendingin dan Tata Udara Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia.



Gambar 1 Sistem refrigerasi cascade (a) Skema sederhana, (b) Diagram log P-h

Alat uji ini terdiri dari dua sirkuit refrigerasi, yaitu sirkuit temperatur tinggi dan sirkuit temperatur rendah. Pada sirkuit temperatur tinggi akan di dengan refrigeran propane (R290) sejumlah 250 gr. Pada sirkuit temperatur rendah diisi campuran karbondioksida (R744) dan ethane (R170). Total massa refrigeran campuran untuk pengambilan data komposisi massa R744/170 adalah sebesar 100 gram diukur dengan menggunakan timbangan refrigeran digital merek Quantro model

MACS015A/C kapasitas 15 kg dengan ketelitian hingga 1 gr.

Komposisi massa R744/170 yang dimasukkan ke dalam sirkuit temperatur rendah yaitu apabila dinyatakan dalam fraksi massa adalah karbon dioksida 63 % dan ethane 37 %, dimana komposisi ini didapat dari hasil simulasi penelitian sebelumnya

Refrigeran pada sirkuit temperatur tinggi dikompresi dengan menggunakan kompresor hermetic Tecumseh/ AJB5515EXD untuk refrigeran R22 dengan daya sebesar 1 HP, sedangkan sirkuit temperatur tinggi dikompresi dengan menggunakan kompresor hermetic Tecumseh/ AJA7494ZXZD untuk refrigeran R404A dengan daya sebesar 1 HP. Gambar 1 memperlihatkan skema alat uji yang digunakan.

Alat ekspansi yang digunakan untuk sirkuit temperatur tinggi berupa pipa kapiler berdiameter dalam 0,54 inch dengan panjang 6 meter. Pada sirkuit temperatur rendah alat ekspansi yang digunakan juga berupa pipa kapiler dengan diameter dalam 0,031 inch dengan panjang 2 meter.

Temperatur sirkuit refrigeran diukur dengan thermokopel tipe k pada 16 lokasi tertentu, dimana 4 buah *pressure transmitter* merk Druck PTX 1400 digunakan untuk mengukur tekanan saluran masuk (*suction*) maupun sisi keluar (*discharge*) tiap kompresor. Daya listrik kompresor diukur menggunakan *powermeter* Yokogawa W1010. Semua Masukan data ini dicatat dalam melalui *data Acquisition National Instrumen 9211 & 9203* tiap interval 2 detik hingga sistem *steady state* (tunak).

Refrigeran pada sirkuit temperatur tinggi keluar kompresor didinginkan oleh sebuah kondenser berpendingin air, temperatur air yang digunakan untuk mendinginkan kondenser temperaturnya dijaga konstan, sehingga kalor yang dilepaskannya dapat diukur dengan mengukur temperatur air masuk dan keluar serta laju aliran massa air.

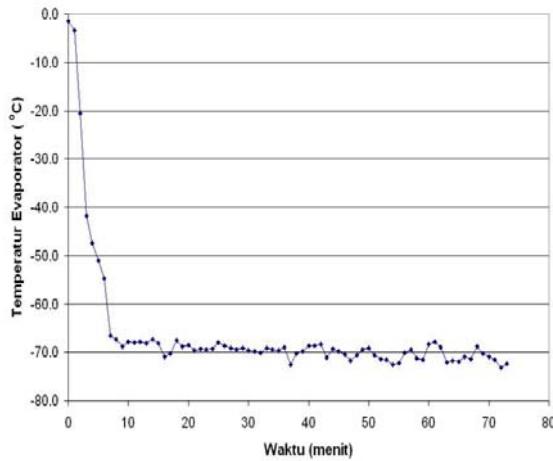
Sementara itu, kondenser pada sirkuit temperatur rendah didinginkan oleh refrigeran dari evaporator sirkuit temperatur tinggi dalam alat penukar kalor cascade. Setelah dikondensasi, refrigeran diekspansi oleh katup ekspanasi. Stabilitas temperatur dan fluks kalor yang diserap oleh evaporator sirkuit temperatur rendah dijaga konstan.

Contoh komposisi refrigeran pada sirkuit temperatur rendah diambil pada empat posisi yaitu pada daerah sisi keluar kompresor (*discharge*), daerah sisi keluar alat penukar kalor, daerah sisi keluar daerah setelah alat ekspansi dan daerah sisi masuk kompresor (*suction*). Contoh komposisi campuran refrigeran tersebut kemudian dilihat komposisinya dengan menggunakan *gas chromatografi* merk hewlett-packard 5890.



3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 menunjukkan perbandingan temperatur refrigeran ketika memasuki evaporator seiring dengan berjalannya waktu. Temperatur evaporasi yang dapat dicapai rata-rata sekitar temperatur -70°C , pada tekanan sisi keluar kompresor (discharge) disekitar 23 bar absolut dan tekanan sisi masuk kompresor (suction) sekitar 2 bar absolut. Walaupun temperatur masuk evaporator masih bisa diturunkan lagi sehingga lebih rendah dari -70°C yaitu dengan cara menurunkan tekanan suction hingga batas 1 bar abs, akan tetapi agar contoh gas dapat dibaca pada *gas chromatografi* tekanan minimumnya adalah 2 bar abs.



Gambar 2 Grafik temperatur evaporasi terhadap waktu

Pada gambar 2 terlihat bahwa temperatur evaporasi yang di dapat cukup stabil, sedangkan naik-turunnya temperatur kurang lebih 3°C disekitar temperatur evaporasi -70°C , disinyalir karena dampak dari temperatur lingkungan sebagai akibat kurang sempurnanya thermal isolasi sepanjang pipa dan pada evaporator.

Tabel 1 Perubahan komposisi R744/R170 dalam sirkuit temperatur rendah sistem refrigerasi cascade

Daerah Pengambilan	Karbon Dioksida	Ethane
Discharge	64.485 %	35.515 %
Kondenser	61.509 %	38.491 %
Evaporator	51.793 %	48.207 %
Suction	65.201 %	34.799 %

Data perubahan komposisi refrigeran yang bersirkulasi pada sirkuit temperatur rendah sirkuit temperatur rendah dapat dilihat pada tabel 1. Pada tabel 1 ini terlihat bahwa komposisi karbon dioksida tertinggi berturut-turut terjadi pada daerah suction dan discharge, sedangkan yang terendah terjadi pada daerah kondenser

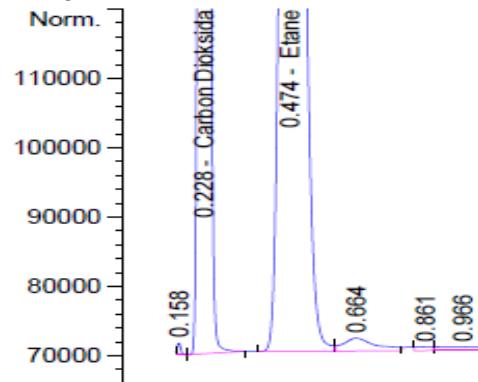
dan evaporator.

Pada daerah discharge dan suction, refrigeran pada daerah ini dalam keadaan (fase) gas. Pada fase gas ini komposisi karbon dioksida lebih banyak dari pada komposisi awal pengisian. Sehingga dari data ini diketahui bahwa terjadi peningkatan komposisi karbon dioksida pada daerah fase gas.

Sebaliknya, Pada daerah kondenser dan evaporator, refrigeran pada daerah ini dalam keadaan (fase) cairan. Pada fase cair ini komposisi karbon dioksida lebih sedikit dari pada komposisi awal pengisian. Sehingga dari data ini diketahui bahwa terjadi penurunan komposisi karbon dioksida pada daerah fase cair.

Walaupun dalam jumlah yang tidak terlalu signifikan, ternyata ada zat lain yang tersirkulasi dalam sistem refrigerasi cascade selain karbon dioksida dan ethane yang memang sengaja dimasukkan.

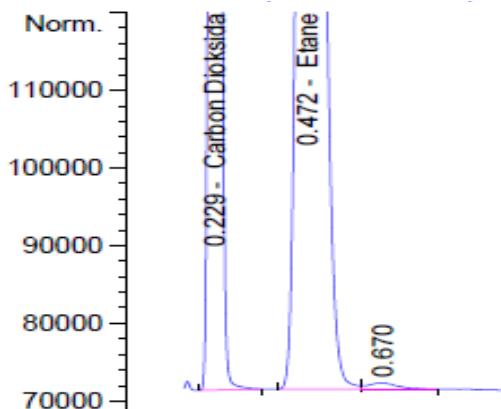
Hal ini dapat dilihat pada gambar 3 dimana pada daerah discharge, selain mendeteksi karbon dioksida selama 0,228 detik dan ethane selama 0,474 detik, *gas chromatografi* juga mendeteksi nitrogen (udara) selama 0,158 detik dan zat lain yang temperatur menguapnya lebih tinggi dari pada nitrogen. Karbon dioksida dan ethane yaitu selama 0,664 detik, 0,681 detik dan 0,966 detik yang kemungkinan besar adalah pelumas yang digunakan untuk melumasi refrigeran yang terlarut dalam refrigeran dan ikut tersirkulasi dalam sistem.



Gambar 3 Kandungan refrigeran pada daerah discharge

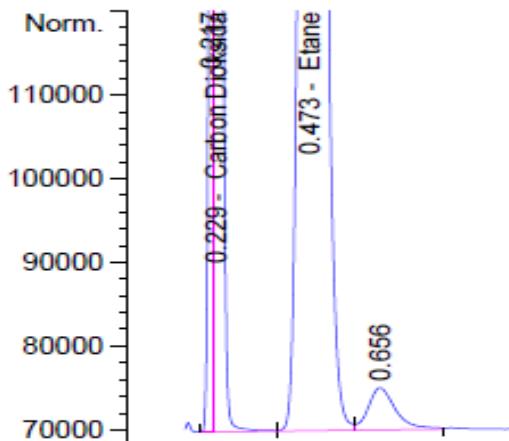
Kandungan refrigeran ini selanjutnya mengalami perubahan pada saat keluar kodenser. Gambar 4 menunjukkan bahwa pada saat keluar kondenser *gas chromatografi* hanya mendeteksi adanya zat karbon dioksida selama 0,229 detik, ethane 0,472 detik dan zat yang disinyalir sebagai oli yang ikut tersirkulasi ke dalam sistem selama 0,670 detik. Pada sistem, sesungguhnya sebelum mamaiki kondenser, sudah diusahakan untuk memisahkan minyak pelumas kompresor dari refrigeran dan mengembalikannya ke kompresor dengan memasang oil separator. Namun hal ini ternyata tidak dapat secara sempurna memisahkan minyak pelumas dari refrigeran, sehingga masih ada sisa minyak pelumas yang ikut tersirkulasi di dalam sistem.





Gambar 4 Kandungan refrigeran pada daerah kondenser

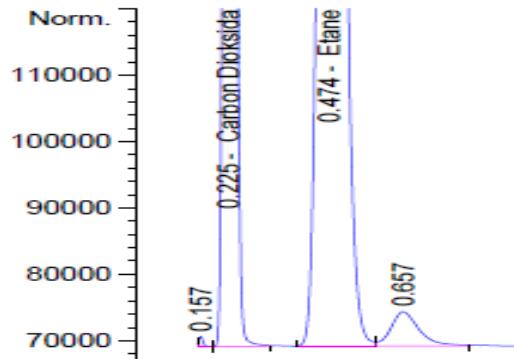
Kandungan refrigeran dari kondenser ini tidak mengalami perubahan pada saat memasuki evaporator. Gambar 5 menunjukkan bahwa pada saat keluar evaporator hanya terdeteksi zat karbon dioksida selama 0,229 detik, ethane 0,473 detik dan zat yang disinyalir sebagai oli yang ikut tersirkulasi ke dalam sistem selama 0,656 detik.



Gambar 5 Kandungan refrigeran pada daerah evaporator

Komposisi refrigeran pada daerah suction terdiri dari nitrogen terdeteksi selama 0,157 detik, karbon dioksida 0,225 detik, ethane 0,474 detik dan zat yang disinyalir sebagai oli yang ikut tersirkulasi ke dalam sistem selama 0,657 detik.

Berdasarkan data dari gambar 3 -6, diketahui bahwa selain karbon dioksida dan ethane, ternyata minyak pelumas kompresor juga ikut tersirkulasi dalam sistem pendingin walaupun telah diusahakan untuk meengembalikannya dengan memasang oil separator. Minyak pelumas yang tersirkulasi ini dikhawatirkan akan dapat mempengaruhi performa sistem karena bisa jadi minyak pelumas ini membeku di evaporator dan akan menyumbat sistem refrigerasi.



Gambar 6 Kandungan refrigeran pada daerah suction

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisa komposisi campuran refrigeran karbon dioksida dan ethane pada sistem refrigerasi cascade maka dapat ditarik kesimpulan antara lain :

- 1) Terjadi perbedaan komposisi refrigeran antara yang dimasukkan ke dalam sistem dengan refrigeran yang tersirkulasi di dalam sistem refrigerasi cascade.
- 2) Pada fase gas yaitu di daerah discharge dan suction komposisi karbon dioksida lebih banyak dari pada komposisi awal pengisian, sebaliknya pada fase cair komposisi karbon dioksida lebih sedikit dari pada komposisi awal pengisian
- 3) Minyak pelumas kompresor ikut tersirkulasi dalam sistem pendingin hal ini dikhawatirkan membeku di evaporator dan akan menyumbat sistem refrigerasi.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Untuk Mahasiswa Program Doktor Tahun Anggaran 2010, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional.

Daftar Pustaka

- Darwin Rio Budi Syaka**, Nasruddin, 2008, *Analisa Thermodinamika Pemilihan Refrigeran Pada Mesin Refrigerasi Cascade*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM)-VII, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, Manado, 4 – 6 November.
- Kim. Ju Hyok, Cho. Jin Min, Kim. Min Soo, 2008, *Cooling performance of several CO₂/propane mixtures and glide matching with secondary heat transfer fluid*, International Jurnal Of Refrigeration, 31 (2008):800-806
- Tianing. Ni Wayan, Sumitro, Sulistyowati dan Muliartha, 2002, *Gambaran Histopathologi Dan Amplifikasi Gen Atapase 6, 8 Serta Cox Iii Pada mtDNA Dari Jaringan Kanker Payudara*, Biosain, Vol. 2, No. 2, Agustus 2002

