

M8-016 Analisa Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi

**Dual Paralel Evaporator Dengan Variasi Putaran Motor DC Kompresor
Hermetik Tunggal**

Nasruddin, Erwin Napitupulu, Fajri Hidayat

Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Indonesia

Kampus Baru UI Depok 16424, Indonesia

Phone: +62-21-7270032, FAX: +62-21-7270033, E-mail: nasruddin@eng.ui.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan energi alternatif seperti energi matahari dan energi angin menjadi sumber energi listrik untuk daerah-daerah terpencil sangatlah diperlukan saat ini. Mengingat keluaran dari sumber energi ini adalah jenis arus searah (DC), Oleh karena itu, untuk mendapatkan efisiensi yang cukup tinggi, energi ini sebaiknya langsung digunakan tanpa diubah terlebih dahulu menjadi AC dan diubah kembali menjadi DC. Pemanfaatan energi ini untuk sistem refrigerasi terus meningkat terutama dengan menggunakan energi matahari yang mempunyai keuntungan karena ketika kebutuhan energi untuk pendinginan meningkat, maka ketersediaan energi ini juga berada dalam fase yang sama. Pada penelitian ini dilakukan analisis unjuk kerja sistem refrigerasi dual paralel evaporator dengan variasi putaran motor DC kompresor hermetik tunggal. Penelitian ini menggunakan refrigerant R-134a dengan variasi putaran kompresor 2000 rpm dan 3500 rpm. Kompresor ini khusus aplikasi yang dapat digunakan untuk sumber DC dan solar sel sehingga cocok untuk sistem refrigerasi yang digunakan untuk daerah-daerah yang terpencil atau yang tidak mendapat pasokan listrik dari PLN. Pada sistem refrigerasi ini dilengkapi juga dengan EPR (Evaporator Pressure Regulator) yang merupakan komponen untuk mengatur keseimbangan tekanan sistem yang memiliki jumlah evaporator lebih dari satu. Selain itu, fungsi EPR untuk mengatur beban di evaporator, serta menjaga kestabilan tekanan di suction pressure, agar tidak melewati batas minimum. Pada pengujian ini digunakan dua buah kabin evaporator yang memiliki setting temperatur sebesar 5 °C dan temperatur set point freezer yaitu -15 °C. Adapun hasil yang didapat dari percobaan ini terhadap tekanan suction dan discharge dari kompresor dengan variasi kecepatan putaran 2000 rpm dan 3500 rpm menunjukkan bahwa tekanan rata-rata tertinggi untuk discharge didapat dengan menggunakan putaran 3500 rpm dan tekanan rata-rata terendah suction juga dicapai pada putaran 3500 rpm. Sedangkan temperatur setting di evaporator akan lebih cepat dicapai pada putaran 3500 rpm. Hal ini disebabkan karena pada putaran yang lebih tinggi aliran massa dari refrigeran semakin besar sehingga kapasitas pendinginan akan meningkat yang menyebabkan temperatur setting lebih cepat tercapai.

Kata kunci: refrigerasi, kompresor DC, putaran motor

1. Pendahuluan

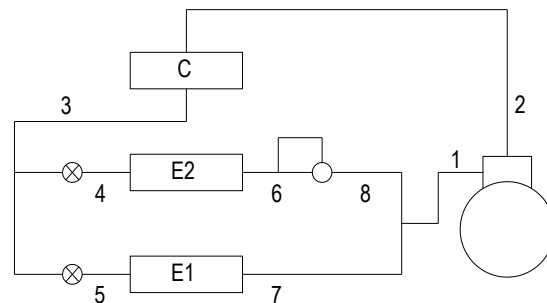
Sarana penyimpanan yang mempunyai beberapa ruangan yang berbeda temperaturnya dengan menggunakan kompresor tunggal merupakan salah satu bagian yang berpengaruh besar ketika berbicara tentang usaha untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, misalnya dalam bidang kesehatan masyarakat. Selain faktor tenaga ahli yang kompeten juga diperlukan peralatan yang memadai. Salah satu peralatan penunjang yaitu tempat penyimpanan obat-obatan, vaksin, darah dan organ sehingga ketersediaan dan kualitasnya dapat terjaga dengan baik. Untuk menjaga agar kualitas obat-obatan, vaksin, darah dan organ tetap terjaga maka diperlukan pendinginan yang temperaturnya sesuai dengan standar dari departemen kesehatan atau badan kesehatan yang diakui baik lokal maupun internasional.

Tempat penyimpanan ini biasanya kebanyakan menggunakan sumber energi listrik AC yang berasal dari PLN 220 VAC, Namun sayangnya, tidak semua daerah yang dapat menikmati listrik tersebut. Apalagi untuk daerah yang terpencil, seperti di pelosok-pelosok desa atau di kepulauan terpencil, yang banyak terdapat di negara kita Indonesia ini. Untuk itu perlu dipertimbangkan menggunakan *refrigerated box* yang dapat digerakkan dari sumber DC dan menggunakan refrigeran yang ramah lingkungan. Baterai atau *solar panel (photovoltaic)* dapat digunakan untuk sumber energi ini sehingga cocok untuk pelosok daerah yang memang sering kekurangan obat-obatan, vaksin, dan darah karena menunggu suplai dari kota. Dengan adanya tempat penyimpanan ini maka ketersediaan obat-obatan, vaksin, dan darah akan terpenuhi. Selain itu, hal tersebut juga akan sangat membantu tugas paramedis, yang akhirnya akan terpenuhinya standar kesehatan yang layak untuk masyarakat banyak.

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis unjuk kerja sistem refrigerasi dual paralel evaporator dengan variasi putaran motor DC kompresor hermetik tunggal. Penelitian ini menggunakan refrigerant R-134a dengan variasi putaran kompresor 2000 rpm dan 3500 rpm. Kompresor ini khusus aplikasi yang dapat digunakan untuk sumber DC dan solar sel sehingga cocok untuk sistem refrigerasi yang digunakan untuk daerah-daerah yang terpencil atau yang tidak mendapat pasokan listrik dari PLN. Pada sistem refrigerasi ini dilengkapi juga dengan EPR (*Evaporator Pressure Regulator*) yang merupakan komponen untuk mengatur keseimbangan tekanan sistem yang memiliki jumlah evaporator lebih dari satu. Selain itu, fungsi EPR adalah untuk mengatur beban di evaporator dan menjaga kestabilan tekanan di suction pressure sehingga tidak melewati batas minimum. Pada pengujian ini digunakan dua buah kabin evaporator yang memiliki setting temperatur 5°C dan temperatur set point freezer yaitu -15 °C.

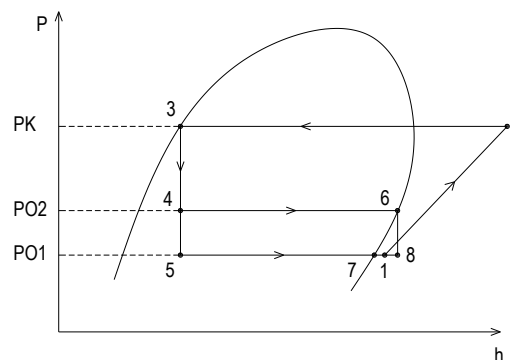
2. Sistem refrigerasi dua evaporator dengan satu kompresor

Sistem dua evaporator dengan satu kompresor dengan *expansion device* untuk masing-masing evaporator dan satu kompresor ditunjukkan pada Gambar 1. Pada sistem ini terjadi drop tekanan pada evaporator tekanan tinggi yang melewati *evaporator pressure regulator (EPR)*, sedangkan siklus termodinamikanya dalam diagram p-h dapat dilihat pada Gambar 2 (proses dari titik 6 ke 8).



Gambar 1. Komponen sistem refrigerasi dua evaporator dengan kompresor tunggal

Cara kerja dari sistem dua *evaporator* dan satu kompresor sebagai berikut: kompresor menekan gas refrigeran dari *suction* (1) sehingga tekanan dan temperaturnya meningkat (2) di kondenser (C), gas refrigeran akan dikondensasi sehingga fasanya menjadi cair (3), kemudian cairan refrigeran dibagi melalui ekspansi (4) untuk *evaporator* 2 (E2), dan ekspansi (5) untuk *evaporator* 1 (E1). Di *evaporator* 2 (E2) harus dipasang *evaporator pressure regulator* (EPR) untuk mempertahankan tekanan penguapannya. Kemudian gas *suction* dihisap lagi oleh kompresor sehingga siklus berlanjut. Adapun siklus tersebut dapat digambarkan dalam diagram p-h seperti dalam Gambar 2.



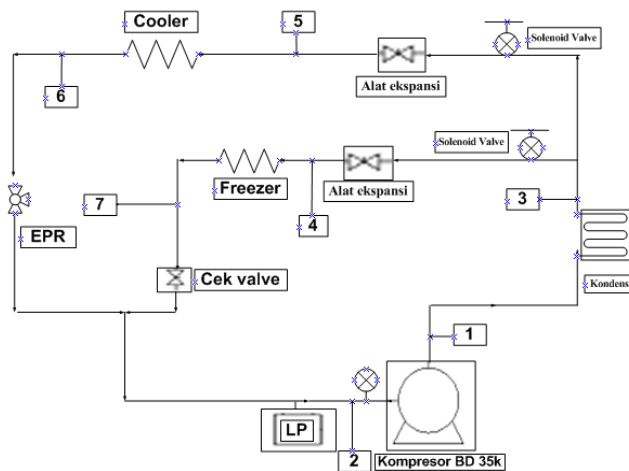
Gambar 2. Siklus termodinamika sistem dengan 2 evaporator dan 1 kompresor [1]

3. Eksperimen

Dalam eksperimen ini digunakan dua buah evaporator yang masing-masing memiliki setting temperatur yang berbeda. Yaitu, temperatur 5°C yang disebut dengan *cooler* dan temperatur set point freezer sebesar -15°C yang selanjutnya disebut sebagai *freezer*. Pada eksperimen ini digunakan juga beberapa *solenoid valve* untuk membuka dan menutup aliran yang ada dalam sistem. Adapun alat ekspansi yang digunakan adalah yang berjenis kapiler berupa *tube* yang memiliki diameter yang cukup kecil dengan panjang tertentu yang didesain sesuai dengan rancangan temperatur yang akan dicapai. Seluruh rangkaian sistem ini dapat dilihat pada Gambar 3. Pada penelitian ini digunakan kompresor DC tipe BD35K dari Danfoss yang khusus dirancang untuk motor penggerak DC dan dirancang khusus untuk

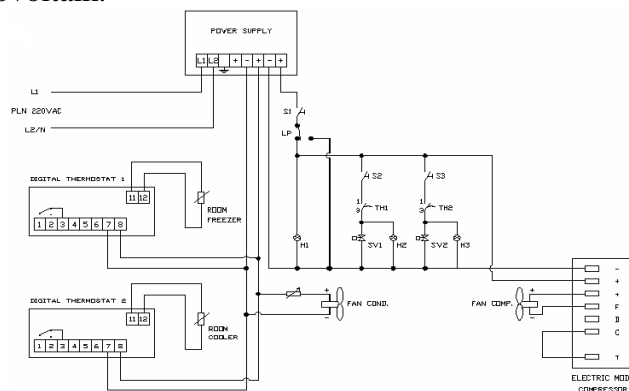
refrigeran hidrokarbon R600a (isobutana) dan juga dilengkapi dengan *electronic unit* 101N0400 serta *AEO (Adaptive Energy Optimizing)*, Kompresor akan selalu beradaptasi kecepatan motornya sesuai dengan kebutuhan beban aktual. Dengan demikian, tidak membutuhkan sistem on-off pada motor kompresor sehingga dapat menghemat penggunaan energi [2].

Untuk dapat merekam data yang dihasilkan, penelitian ini menggunakan *thermocouple* yang dipasang pada beberapa titik di dalam sistem untuk mensensor temperatur yang selanjutnya direkam melalui *data acquisition system (DAQ) Advantech*. Sedangkan tekanan masuk dan keluar kompresor dihasilkan dari *pressure gauge* yang terpasang pada bagian *suction* dan *discharge* kompresor. Penggunaan daya motor kompresor DC yang bervariasi menurut tekanan didapat dengan menggunakan power meter merek Yokogawa tipe WT1010 yang dapat pula menghitung arus dan tegangan yang terjadi selama pengujian.



Gambar 3. Experimental Set-up

Adapun rangkaian sistem kelistrikan yang digunakan pada percobaan ini adalah sumber listrik dari PLN untuk selanjutnya dihubungkan dengan AC-DC converter yang mensimulasikan penggunaan listrik dari batere atau fotovoltaik. Sistem kelistrikan ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pada penelitian ini juga digunakan sumber listrik yang berasal dari batere yang diasumsikan sumbernya berasal dari sinar radiasi matahari melalui sistem fotovoltaik.

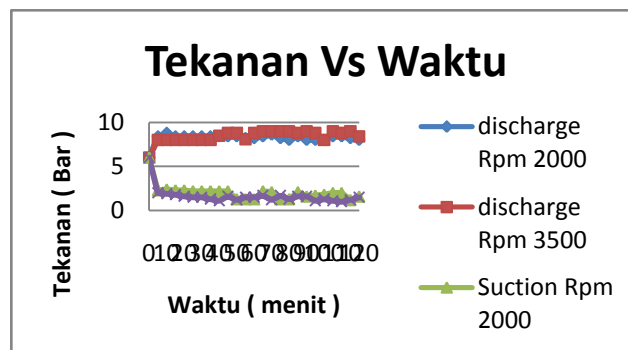


Gambar 4. Rangkaian Sistem Kelistrikan pada Pengujian dengan sumber listrik PLN

Pada pengujian digunakan refrigeran R134a yang termasuk refrigeran yang ramah lingkungan dengan nilai ODP=0. Walaupun nilai GWP nya masih cukup besar [3], akan tetapi batas waktu penggunaan refrigeran ini masih cukup lama sebagai pengganti R12. Pada percobaan ini pengaruh oli pelumas diabaikan, terutama ketika menggunakan R134a yang direkomendasikan untuk menggunakan oli sintetik [4].

4. Hasil Pengujian

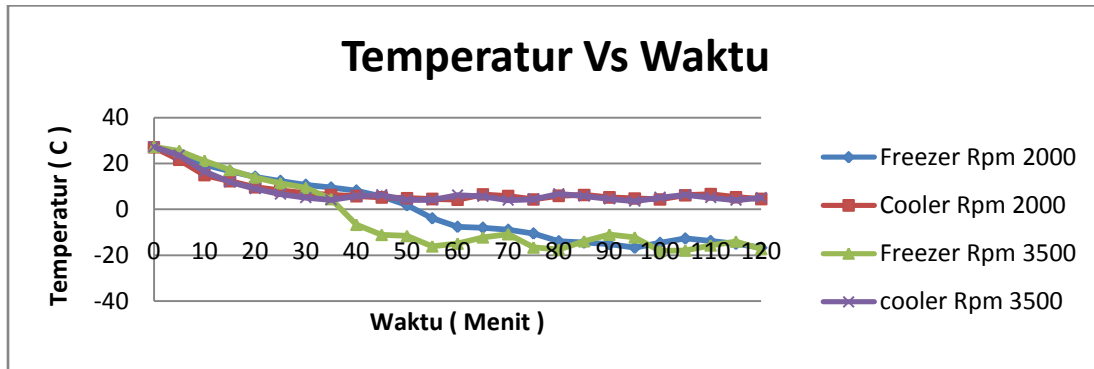
Dengan mengasumsikan temperatur udara di dalam ruang pengujian berkisar antara 28-30°C, percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan sumber listrik dari PLN dan AC-DC converter. Adapun hasil pengukuran tekanan yang ada pada bagian *suction* dan *discharge* dengan variasi putaran motor kompresor terlihat pada Gambar 5. Dari gambar terlihat bahwa tekanan *suction* di kompresor pada putaran 3500 rpm lebih rendah dibandingkan pada putaran 2000 rpm. Sementara itu, tekanan *discharge* kompresor untuk 3500 rpm lebih tinggi dibandingkan dengan putaran 200 rpm. Hal ini disebabkan, dengan putaran yang lebih besar kemampuan kompresor menjadi lebih besar baik pada sisi hisap maupun sisi tekannya. Dengan demikian, Δp yang dihasilkan menjadi jauh lebih besar.



Gambar 5. Grafik tekanan suction dan discharge kompresor terhadap waktu sebagai fungsi dari putaran motor kompresor dengan sumber listrik PLN

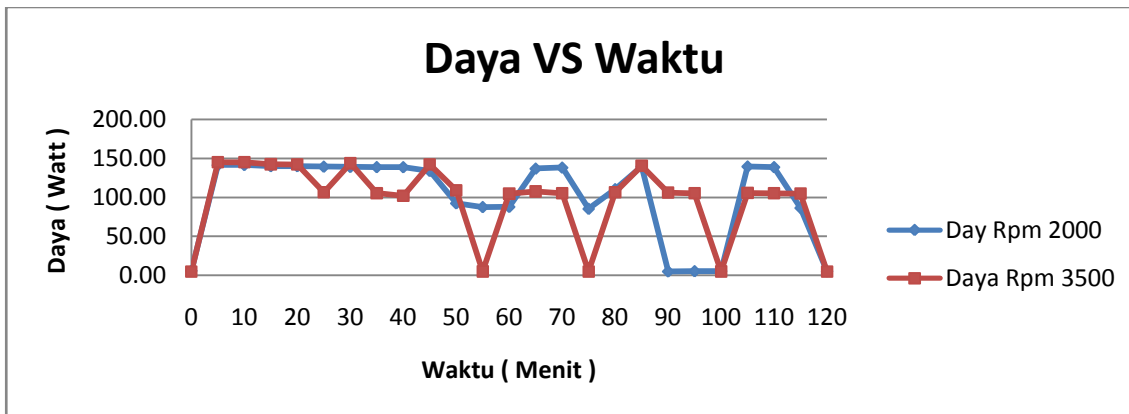
Temperatur yang dapat dicapai di dalam *cooler* dan *freezer* terhadap waktu pengujian sebagai fungsi dari putaran motor kompresor dengan menggunakan sumber listrik PLN dapat dilihat pada Gambar 6. Berawal dari temperatur di dalam kedua kabin sebesar 27°C, terlihat bahwa penurunan temperatur di dalam *cooler* (set point 5°C) pada 30 menit pertama lebih cepat dibandingkan dengan *freezer* (set point -15°C). Adanya profil temperatur yang naik dan turun di dalam kedua kabin menunjukkan tercapainya *set-point* di dalam kedua kabin. Mengingat bahwa sistem tidak didesain untuk merespon dengan cepat, maka respon untuk menjalankan sistem dengan berputarnya kompresor juga tidak terlalu cepat. Sedangkan pengaruh putaran motor kompresor terhadap temperatur di *cooler* tidaklah terlalu signifikan dibandingkan dengan di *freezer*. Terlihat bahwa pada putaran 3500 rpm temperatur di *freezer* lebih cepat untuk mencapai *set-point* -15°C. Dari grafik juga terlihat bahwa setelah tercapainya *set-point* di *cooler*, maka garis penurunan temperatur di *freezer* lebih curam sebelumnya. Hal ini disebabkan oleh laju aliran refrigeran yang lebih banyak masuk ke dalam *evaporator freezer* tanpa adanya pembagian aliran ke

cooler.



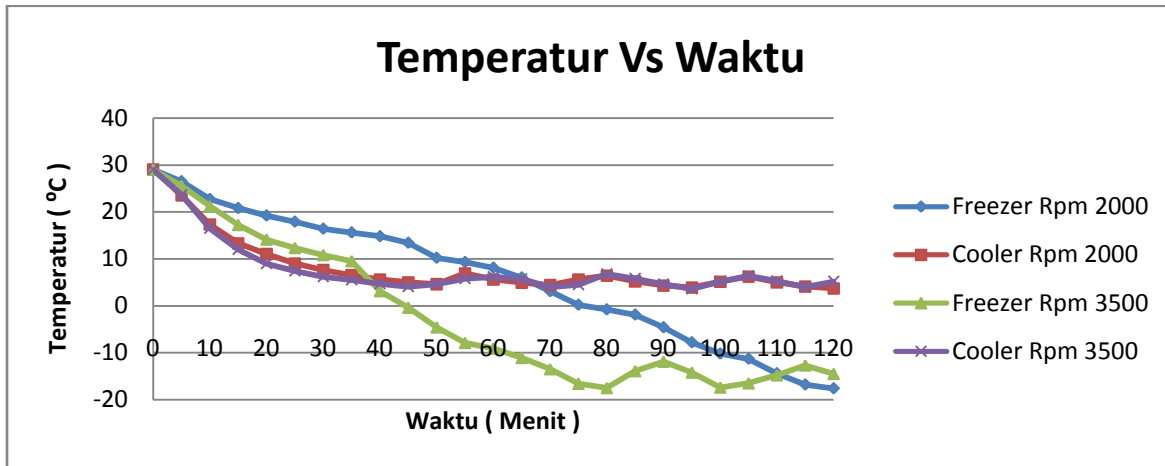
Gambar 6. Grafik temperatur di cooler dan freezer terhadap waktu sebagai fungsi dari putaran motor kompresor dengan sumber listrik PLN

Pada Gambar 7 ditunjukkan bahwa pada putaran 3500 rpm kompresor lebih sering mati dibandingkan pada putaran 2000 rpm. Hal ini disebabkan pada putaran 3500 rpm, daya yang dihasilkan oleh sistem untuk pendinginan lebih cepat mencapai set-point. Sehingga terlihat bahwa secara total jumlah daya yang digunakan oleh putaran 2000 rpm lebih besar dibandingkan pada putaran 3500 rpm. Kondisi itu, juga disebabkan kompresor dengan putaran 3500 rpm lebih sering mati dibandingkan pada 2000 rpm.



Gambar 7. Grafik daya terhadap waktu sebagai fungsi dari putaran motor kompresor dengan sumber listrik PLN

Sementara itu, pengaruh penggunaan batere dibandingkan dengan listrik PLN dapat dilihat pada Gambar 8. Terlihat bahwa penggunaan batere sebagai sumber energi yang digunakan di kompresor tidaklah terlalu berbeda dibandingkan dengan sumber listrik PLN, sebagaimana terlihat pada profil temperatur di dalam kabin freezer dan cooler. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan energi alternatif berupa renewable energy yang dapat di simpan dalam batere sangatlah dapat diandalkan untuk daerah-daerah yang tidak memiliki sumber listrik PLN. Dengan catatan, suplai energi listrik dapat dijaga konstan atau stabil dengan menggunakan batere.



Gambar 8. Grafik temperatur di cooler dan freezer terhadap waktu sebagai fungsi dari putaran motor kompresor dengan sumber listrik batere

5. Kesimpulan

Penggunaan dua buah evaporator yang memiliki temperatur yang berbeda dengan hanya menggunakan satu kompresor dapatlah dicapai dengan menggunakan komponen tambahan EPR yang berfungsi untuk menjaga tekanan evaporator yang berbeda sehingga akan menghasilkan temperatur yang juga berbeda.

Putaran kompresor sangat mempengaruhi tercapainya waktu *set-point* di dalam sistem serta tekanan suction dan discharge di kompresor. Sementara itu, daya total yang dibutuhkan oleh kompresor yang putarannya lebih tinggi tidak selalu lebih besar dibandingkan putaran rendah.

Penggunaan sumber listrik batere tidaklah berpengaruh terhadap unjuk kerja sistem selama sumber energi yang keluar dari batere dapat dijaga konstan.

Penggunaan kompresor dengan motor DC yang terintegrasi di dalam kompresor akan lebih menghemat energi. Hal ini disebabkan, tidak hilangnya efisiensi dari energi yang digunakan akibat banyaknya komponen tambahan seperti inverter.

Referensi

- [1] Arora, C.P, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Company limited, New Delhi, 1983
- [2] www.danfoss.com/compressors

- [3] Nasruddin, Edi Hamdi, *Natural Refrigerants in Indonesia : Challenge and Opportunity*, 2003, Proceedings The Elevent ISSM, ISSN 0855-8692
- [4] Whitman et al., *Refrigeration and Air Conditioning Technology 5th Edition*, Thomson Delmar Learning 2005