

**M8-015 Pemanfaatan Panas Buang Kondensor Untuk Keperluan Pemanasan Pada Mesin Refrigerasi Hibrida Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon HCR22**

**Azridjal Aziz**

Department of Mechanical Engineering  
Riau University

Kampus Bina Widya, Jl. Subrantas, km 12,5 Simpang Panam, Pekanbaru 28293, Indonesia  
Phone: +62-761-566786, FAX: +62-761-66595, E-mail: [azridjal@yahoo.com](mailto:azridjal@yahoo.com), [azridjal@unri.ac.id](mailto:azridjal@unri.ac.id)

**ABSTRAK**

*Mesin refrigerasi adalah salah satu jenis mesin konversi energi, dimana sejumlah energi dibutuhkan untuk menghasilkan efek pendinginan. Di sisi lain, panas dibuang oleh sistem ke lingkungan untuk memenuhi prinsip-prinsip termodinamika agar mesin dapat berfungsi. Panas dari kondensor yang terlepas ke lingkungan biasanya terbuang begitu saja tanpa dimanfaatkan, panas ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan pemanasan. Mesin pengkondisian udara umumnya masih menggunakan refrigeran halokarbon (R-12 dan R-22). Pertengahan tahun 1970-an diketahui bahwa klorin dari refrigeran halokarbon yang terlepas ke lingkungan dapat merusak lapisan ozon di stratosfir dan menimbulkan efek rumah kaca, sehingga pemakaiannya harus dihentikan dan sebagai penggantinya digunakan refrigeran hidrokarbon (HCR-12 dan HCR-22). Refrigeran hidrokarbon sebagai alternatif pengganti refrigeran halokarbon memiliki keunggulan yaitu ramah lingkungan (efek perusakan ozon nol dan efek pemanasan globalnya kecil), dapat digunakan sebagai pengganti langsung pada mesin refrigerasi tanpa penggantian kompresor (drop in substitute), lebih hemat energi listrik, karena massa refrigeran yang digunakan lebih sedikit dibanding halokarbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa : penggunaan massa refrigeran hidrokarbon HCR22 optimum pada mesin kompresi uap hibrida adalah 400 gram pada COP 2,546. Terjadi penghematan/pemanfaatan energi dari panas buang kondensor yaitu 1,17 kW dari total panas buang 2,017 kW atau sekitar 58,12% yang dapat digunakan untuk pemanasan ruang atau untuk pengeringan. Daya kompresor yang digunakan 0,62 kW, dengan daya pendinginan sebesar 1,4 kW sehingga COP yang didapatkan 2,27. Temperatur sisi panas yang dicapai adalah 47,39 °C untuk ruangan pemanas dan 48,57 °C untuk temperatur air panas, dimana beda temperatur rata-rata antara koil pemanas dengan temperatur ruang panas berkisar 3 °C. Penggunaan koil dummy air panas pada sisi panas (kondensor) sangat penting untuk menjaga kestabilan termodinamik mesin pendingin kompresi uap hibrida.*

*Kata kunci : refrigeran, kondensor, hidrokarbon, refrigerasi*

**1. Pendahuluan**

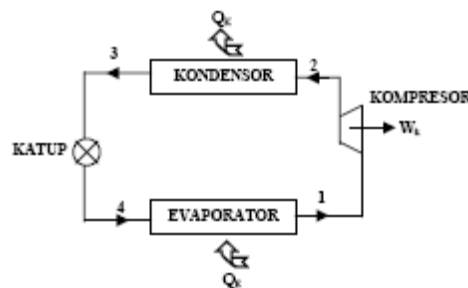
Siklus yang banyak digunakan dalam siklus refrigerasi adalah siklus kompresi uap. Pada siklus tersebut umumnya digunakan adalah refrigeran halokarbon, yang secara teknis cukup baik, apalagi refrigeran jenis ini tingkat racun dan tingkat mampu nyalanya rendah. Salah satu refrigeran halokarbon

yang selama ini banyak digunakan yaitu R12 [1]. Sampai dengan saat ini penelitian mencari refrigeran alternatif pengganti refrigeran R12 telah mengalami peningkatan yang cukup berarti. Salah satu refrigeran pengganti yang telah berangsur luas penggunaannya yaitu refrigeran hidrokarbon HCR12 yang secara teknis memiliki sifat-sifat yang mendekati R12 [2].

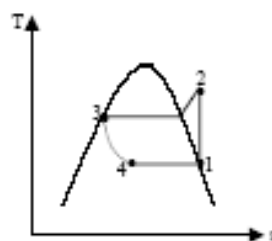
### Siklus Kompresi Uap

Sistem pendingin siklus kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam siklus refrigerasi, pada siklus ini terjadi proses kompresi (1 ke 2), pengembunan (2 ke 3), ekspansi (3 ke 4) dan penguapan (4 ke 1). Sebuah siklus kompresi uap ideal memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator, seperti digambarkan pada gambar 1 [3][4].

Dari gambar 2 dapat dijelaskan bahwa; (1-2) kompresi adiabatik dan reversibel, dari uap jenuh menuju tekanan konstan. (2-3) pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, menyebabkan penurunan panas lanjut dan pengembunan refrigerasi. (3-4) ekspansi irreversibel pada entalpi konstan, dari cairan jenuh menuju tekanan evaporator. (4-1) penambahan kalor reversibel pada tekanan tetap, yang menyebabkan penguapan menuju uap jenuh.



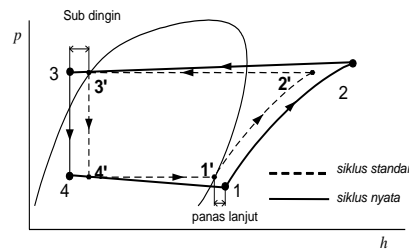
Gambar 1. Diagram alir kompresi uap



Gambar 2. Perbandingan antara siklus kompresi uap standar dan siklus nyata.

### Siklus Kompresi Uap Nyata

Siklus kompresi uap nyata mengalami pengurangan efisiensi dibandingkan dengan siklus standar. Pada siklus kompresi uap nyata proses kompresi berlangsung tidak isentropik, selama fluida kerja melewati evaporator dan kondensor mengalami penurunan tekanan. Fluida kerja mendinginkan kondensor dalam keadaan sub.dingin, dan meninggalkan evaporator dalam keadaan panas lanjut.



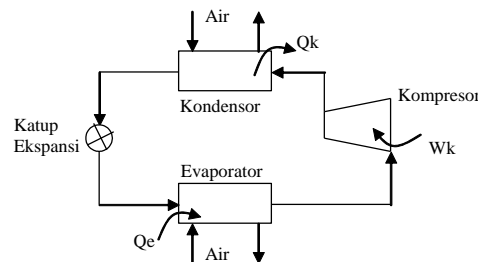
Gambar 3. Perbandingan antara siklus kompresi uap standar dan siklus nyata.

Penyimpangan siklus kompresi uap nyata dari siklus uap ideal dapat diperhatikan pada gambar 3. Pada siklus kompresi uap nyata proses kompresi berlangsung tidak isentropik, hal ini disebabkan adanya kerugian mekanis dan pengaruh temperatur lingkungan selama proses kompresi. Gesekan dan belokan pipa, menyebabkan penurunan tekanan di dalam alat penukar kalor (*heat exchanger*), sebagai akibatnya kompresi dari titik 1 dan titik 2 memerlukan lebih banyak kerja dibandingkan dengan siklus ideal (standar).

Alasan paling umum digunakan dalam usaha memodifikasi siklus kompresi uap sederhana adalah efisiensi penggunaan energi. Pengembangan mesin kompresi uap ideal dilakukan untuk mendapatkan efisiensi penggunaan energi yang lebih baik sehingga dapat melayani berbagai kebutuhan untuk pendinginan dan pemanasan yang memanfaatkan energi buangan sistem [5].

Berdasarkan keterangan ini, diambil suatu terobosan untuk meningkatkan efisiensi maka kedua sisi dingin dan panasnya dimanfaatkan sekaligus. Siklus kompresi uap seperti ini dikenal sebagai mesin refrigerasi hibrida. Mesin refrigerasi hibrida ini tentu saja memiliki keunggulan dan kekurangan salah satu yang merupakan keunggulannya adalah peningkatan efisiensi penggunaan energi tetapi karena kedua sisinya sudah dimanfaatkan maka perubahan pada suatu sisi diharapkan tidak akan mengganggu proses di sisi yang lainnya, sehingga umumnya dilengkapi dengan penambahan komponen *dummy* [6].

Pada mesin refrigerasi hibrida, karena kedua sisinya sudah dimanfaatkan maka ditambahkan satu lagi performansi yaitu *Total Performance* (TP) yang menyatakan jumlah total panas yang diserap dan dilepas dibandingkan dengan kerja kompresi.



Gambar 4. Siklus Kompresi Uap Ideal dengan Pendingin Air

Mesin refrigerasi hibrida dengan siklus ideal, prestasinya dapat ditinjau dari sisi air (gambar 4), karena perhitungan performansi mesin lebih mudah dilakukan.

## Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja yang digunakan untuk mentransfer panas di dalam siklus refrigerasi. Pada sistem kompresi uap, refrigeran menyerap kalor dari suatu ruang melalui proses evaporasi dan membuang kalor ke ruang lain melalui proses kondensasi. Sifat-sifat yang dipertimbangkan dalam memilih refrigeran, adalah: *sifat kimia, sifat fisik dan sifat termodinamik*. Berdasarkan sifat-sifat kimianya refrigeran yang baik adalah: tidak beracun, tidak bereaksi dengan komponen refrigerasi, dan tidak mudah terbakar, serta tidak berpotensi menimbulkan pemanasan global (non-GWP (*Global Warming Potential*)) dan tidak merusak lapisan ozon (non-ODP (*Ozone Depleting Potential*)).

Refrigeran hidrokarbon merupakan salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon (*CFC*). Refrigeran hidrokarbon tidak berpotensi merusak ozon karena  $ODP = 0$  dan *GWP* yang kecil. Refrigeran hidrokarbon juga tidak mengalami reaksi kimia dengan oli pelumas yang digunakan untuk refrigeran halokarbon [7]. Refrigeran hidrokarbon adalah refrigeran yang ramah lingkungan, hal ini diperlukan agar kelestarian lingkungan terjaga, karena lapisan ozon di stratosfir berfungsi melindungi bumi dari radiasi sinar ultra violet intensitas tinggi yang berbahaya (antara lain dapat menimbulkan kanker kulit, katarak mata, menurunkan immunitas tubuh, dapat membunuh phytoplankton yang merupakan bagian dari rantai kehidupan laut) [8]. Perangkat pengkondisian udara umumnya menggunakan refrigeran halokarbon jenis R22, sebagai alternatif pengganti maka digunakan refrigeran hidrokarbon pengganti R22 (*HCR22*).

## 2. Metodologi

Fasilitas pengujian terdiri dari satu unit mesin refrigerasi, seperangkat alat ukur dan beberapa peralatan pendukung. Mesin refrigerasi beroperasi pada dua siklus yaitu siklus primer dan siklus sekunder. Siklus primer merupakan siklus refrigeran sedangkan siklus sekunder merupakan siklus air (*chiller*).

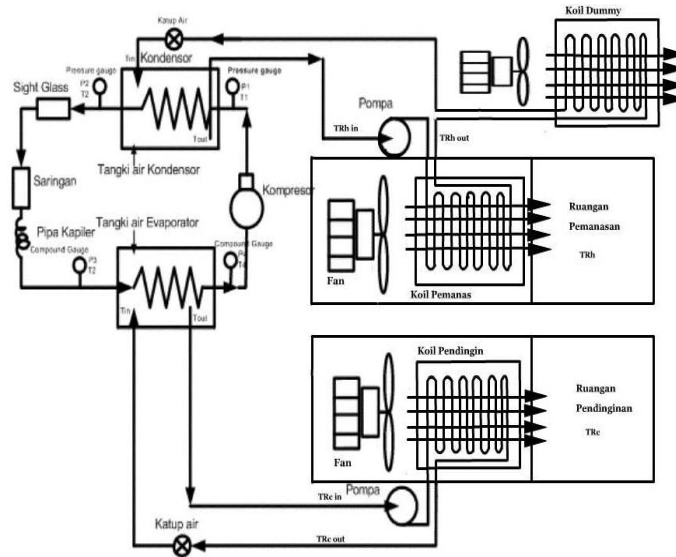
Komponen siklus primer terdiri dari dua unit evaporator, dua unit kondensor, satu buah kompresor, satu buah alat ekspansi dan beberapa komponen pendukung seperti pompa air listrik, blower. Sedangkan pada siklus sekunder terdapat satu unit kabin pendingin, satu unit kabin penering, sebuah koil pendingin dan pemanas serta satu buah katup solenoid. Skema sederhana fasilitas pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.

## Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini meliputi tahapan berikut ini:

4. Pengurusan instalasi dengan melakukan proses pemvakuman.
5. Pemeriksaan kebocoran instalasi dengan melakukan pemvakuman.
6. Pengisian Refrigeran. Pengisian refrigeran dilakukan dalam fasa cair melalui saluran isap kompresor. Pengisian dilakukan dalam fasa cair karena hidrokarbon merupakan campuran zeotropik. Pengisian refrigeran dilakukan sedikit demi sedikit sampai dicapai massa refrigeran optimum, dan terus ditambahkan untuk melihat apakah performansinya naik atau turun.

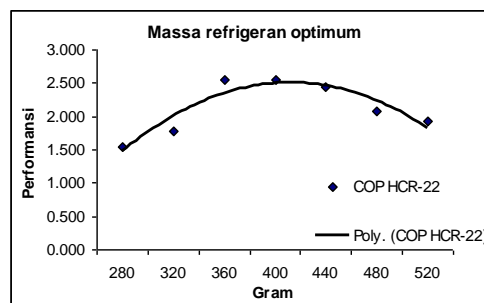
Massa optimum refrigeran adalah jumlah massa refrigeran tertentu yang telah dimasukkan ke dalam perangkat pengkondisian udara yang memberikan kinerja terbaiknya.



Gambar 5. Fasilitas Pengujian Mesin Refrigerasi

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Massa Refrigeran HCR22 Optimum

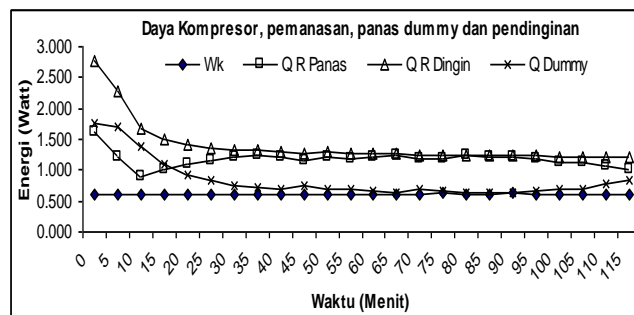


Gambar 6. Grafik massa refrigeran optimum dan COP optimum HCR22

Pada gambar 6 ditunjukkan bahwa massa refrigeran optimum HCR22 sebesar 400 gram pada COP 2,546. Terlihat bahwa penggunaan jumlah refrigeran lebih atau kurang dari nilai optimum akan menyebabkan performansi mesin pendingin turun, hal ini terjadi karena kerja kompresor bertambah besar sehingga menurunkan kinerja pendinginan.

**6.2. Daya pendinginan, Daya pemanasan dan Kerja Kompresor (Perhitungan sisi refrigeran sekunder)**

Pada gambar 7 dapat dilihat daya pendinginan, daya pemanasan dan kerja kompresor, terhadap waktu pemakaian mesin pendingin. Tampak bahwa daya pemanasan dan pendinginan mencapai kondisi relatif stabil setelah 30 menit. Besar daya pemanasan secara termodinamik merupakan jumlah dari daya pendinginan ditambah dengan kerja kompresor. Terlihat bahwa daya pendinginan dan daya pemanasan cenderung sama, hal ini terjadi karena sebagian daya pemanasan yang tidak digunakan di ruang pemanas di buang di koil pemanas dummy. Daya kompresor rata-rata yang digunakan 0,62 kW, dengan daya pendinginan sebesar 1,4 kW sehingga COP yang didapatkan 2,27.

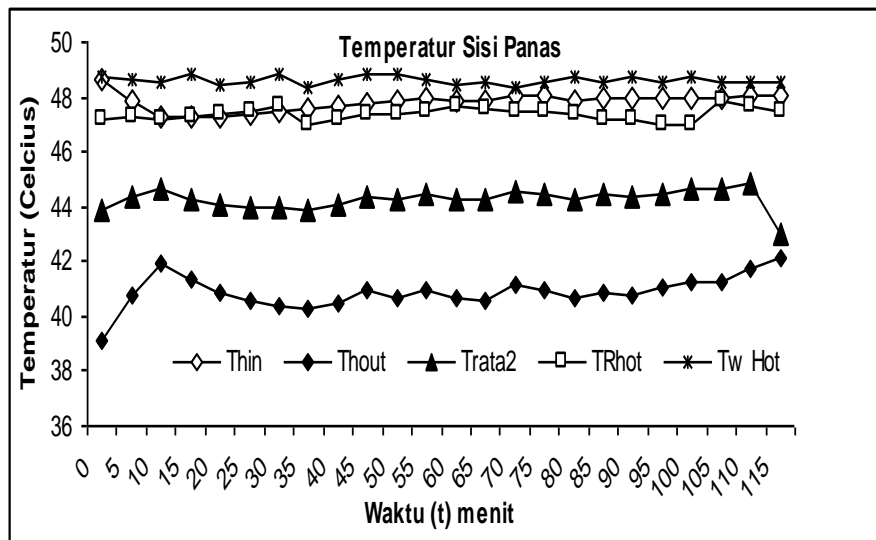


Gambar 7. Daya kompresor, daya pemanasan dan daya pendinginan

Daya pemanasan berguna rata-rata adalah 1,172 kW, rata-rata panas yang terbuang di dummy adalah 0,845 kW, sehingga terjadi penghematan energi untuk pemanasan (panas berguna) sekitar 58,12 %. Hal ini menunjukkan penghematan adalah sejumlah energi panas yang diterima/digunakan pada ruang pemanas (Q R Panas).

**3.3 Temperatur pada Sisi Panas Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Hibrida**

Pada gambar 8 dapat dilihat temperatur sisi panas pada mesin pendingin yang diuji. Tampak bahwa temperatur sisi panas relatif stabil setelah waktu pengoperasian mesin selama 30 menit, temperatur relatif stabil sampai lebih kurang 2 jam pengoperasian mesin. Beda temperatur rata-rata antara ruangan pemanas dengan temperatur rata-rata koil berkisar 3 °C.



Gambar 8. Temperatur sisi panas mesin dengan HCR22

Besar temperatur udara pada ruangan pemanas rata-rata adalah  $47,39^{\circ}\text{C}$  dengan temperatur tangki air panas (tangki kondensor) sebesar  $48,57^{\circ}\text{C}$ . Temperatur sisi panas ini dapat digunakan untuk berbagai keperluan air panas maupun untuk berbagai keperluan udara panas/pengeringan, antara lain seperti air panas untuk memasak, mandi, mencuci, dan udara panas untuk pengeringan pakaian dan bahan pertanian.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan massa refrigeran hidrokarbon HCR22 optimum pada mesin kompresi uap hibrida ini 400 gram pada COP 2,546.
2. Penggunaan koil dummy air panas pada sisi panas (kondensor) sangat penting untuk menjaga kestabilan termodinamik mesin pendingin kompresi uap hibrida.
3. Daya kompresor rata-rata yang digunakan 0,62 kW, dengan daya pendinginan sebesar 1,4 kW sehingga COP yang didapatkan 2,27.
4. Temperatur sisi panas yang dicapai adalah  $47,39^{\circ}\text{C}$  untuk ruangan pemanas dan  $48,57^{\circ}\text{C}$  untuk temperatur air panas, dimana beda temperatur rata-rata antara koil pemanas dengan temperatur ruang panas berkisar  $3^{\circ}\text{C}$ .
5. Terjadi penghematan/pemanfaatan energi daya pemanasan sebesar 58,12% pada ruang panas yang dapat digunakan untuk pemanasan ruang atau untuk pengeringan.

## Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Riau yang mendanai penelitian ini melalui Dana Penelitian Andalan, DIPA UNRI tahun 2008.

## Daftar Pustaka

- [1] Stoecker, W.F., Jones J.W., *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1992.
- [2] Suamir, I Nyoman., *Perancangan dan Pembuatan Perangkat Pengujian Performansi Refrigeran Hidrokarbon Pengganti R-12*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 1992. (1995), ., New York :
- [3] Moran, M.J., Saphiro, H.N., *Fundamental of Engineering Thermodynamycs*, 3<sup>rd</sup> ed, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1995.
- [4] Reynolds, William., Perkins, Henry W.F., Jones J.W., *Engineering Thermodynamics*, 2<sup>nd</sup> ed., Mc Graw-Hill Co, Singapore, 1997.
- [5] Suarnadwipa, I Nengah., *Kaji Eksperimental Karakteristik Mesin Refrigerasi Hibrid yang Menggunakan Refrigeran Substitusi R-12*, Laporan Tesis Magister, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 2000.
- [6] Ambarita, Himsar., *Perancangan dan Simulasi Mesin Refrigerasi Siklus Kompresi Uap Hibrida dengan HCR-12 sebagai Pengganti R-12 yang Sekaligus Bertindak sebagai Mesin Refrigerasi pada Lemari Pendingin (Cold Storage) dan Pompa Kalor pada Lemari Pengereng (Drying Room)*, Laporan Tesis Magister, Jurusan Teknik Mesin ITB, Bandung, 2001.
- [7] Pasek, A.D.,Tandian, *Short Course on the Applications of Hydrocarbon Refrigerants*, N.P., International Conference on Fluid and Thermal Energy Conversion 2000, Bandung, 2000.
- [8] Pasek, A.D.,Tandian, Adriansyah W., *Training of Trainer Refrigeration Servicing Sector*, Training Manual, ITB, Bandung, 2004.