

**M8-012 Pengembangan Mesin Pengkondisian Udara (AC)**

**Siklus Kompresi Uap Hemat Energi Menggunakan *Ice On Coil Thermal Energy Storage* dengan 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**

*Untuk mengoperasikan mesin refrigerasi dibutuhkan refrigeran sebagai fluida kerja. Refrigeran yang paling banyak digunakan adalah refrigeran halokarbon (halogenated refrigerant) salah satunya adalah jenis HCFC-22 (Hydrochlorofluorocarbon) atau R-22. Namun dari hasil penelitian, refrigeran halokarbon R-22 menunjukkan sifat yang berdampak buruk terhadap lingkungan. R-22 dapat merusak lapisan ozon dan berpotensi besar terhadap peningkatan efek pemanasan global, sehingga penggunaan refrigeran tersebut dicanangkan untuk dihapuskan pembuatan dan pemakaiannya. Salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon R-22 adalah refrigeran hidrokarbon (hydrocarbon referigerant). Beberapa kelebihan yang dimiliki refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 yaitu dapat digunakan sebagai pengganti langsung (drop in substitute) tanpa penggantian komponen, ramah lingkungan (tidak merusak lapisan ozon), pemakaian refrigeran lebih sedikit, hemat energi, dan memenuhi standar internasional. Chiller lebih umum digunakan pada bangunan gedung, pusat perkantoran dan pusat perbelanjaan. Penggunaan chiller di bangunan rumah (residential) masih sangat sedikit dilakukan, umumnya rumah menggunakan beberapa AC split untuk beberapa ruangan rumah yang perlu disejukkan. Penggunaan chiller berbasis mesin pendingin kompresi uap menggunakan hydrocarbon refrigerant yang ramah lingkungan dan dikombinasikan dengan penggunaan Ice on coil Thermal Energy Storage di bangunan rumah yang menggunakan lebih dari 1 AC split dapat menghemat penggunaan energi listrik (Energy Efficient). Pada pengoperasian sistem kompresi uap (siklus primer) dengan pendinginan air didapatkan temperatur air 0 °C disertai terbentuknya es pada pipa evaporator setebal lebih kurang 1 cm. Siklus primer beroperasi menggunakan refrigeran hidrokarbon HCR22 dengan daya kompresor 0,62 kW selama 1 jam. Kemudian sistem kompresi uap dimatikan dan digunakan sistem termal storage dengan ice on coil (sistem chiller/siklus sekunder) untuk mengkondisikan ruangan. Beda temperatur rata-rata antara koil pendingin dengan temperatur ruang pendingin berkisar 3 – 5 °C. Penggunaan tangki air dingin kapasitas 45 liter sebagai thermal energy storage dengan temperatur awal 0 °C pada kondisi ice on coil dapat mempertahankan ruang dingin pada temperatur 24 °C selama 120 menit. Pada sistem termal storage fungsi kompresor digantikan oleh pompa dimana daya pompa lebih kecil sekitar 17 % dibanding daya kompresor, sehingga terjadi penghematan energi yang cukup berarti. Apalagi penggunaan refrigeran hidrokarbon pada siklus primer juga dapat menghemat energi listrik sampai 20 %.*

# SEMINAR NASIONAL TAHUNAN TEKNIK MESIN (SNTTM) - VIII

---

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-14 Agustus 2009*

*Kata kunci: refrigerasi, hidrokarbon, thermal energy storage, ice on coil, evapoator*

## 1. Pendahuluan

Refrigerasi adalah suatu proses penyerapan panas dari suatu zat atau produk sehingga temperaturnya berada di bawah temperatur lingkungan. Mesin refrigerasi atau disebut juga mesin pendingin adalah mesin yang dapat menimbulkan efek refrigerasi tersebut, sedangkan refrigeran adalah zat yang digunakan sebagai fluida kerja dalam proses penyerapan panas.

Secara umum bidang refrigerasi mencakup kisaran temperatur sampai 123 K. Sedangkan proses-proses dan aplikasi teknik yang beroperasi pada kisaran temperatur di bawah 123 K disebut kriogenika (*cryogenics*). Perbedaan ini disebabkan karena adanya fenomena-fenomena khas yang terjadi pada temperatur di bawah 123 K dimana pada kisaran temperatur ini gas-gas seperti nitrogen, oksigen, hidrogen dan helium dapat mencair [1].

Penggunaan AC sebagai sistem pengkondisi udara sudah semakin pesat, hampir semua gedung bertingkat, pusat perkantoran, pusat perbelanjaan, perumahan (*residential*) menggunakan sistem ini. Sistem AC ini dibuat untuk memenuhi rasa sejuk dan nyaman bagi penghuni dalam melakukan berbagai aktivitas kerja. Bangunan gedung yang memiliki beban pendinginan yang besar serta waktu operasi pemakaian yang lama umumnya menggunakan sistem pengkondisi udara sentral. Hal ini karena pertimbangan biaya operasional serta perawatan lebih murah dan mudah. Pada umumnya sistem pengkondisi udara sentral menggunakan sistem *chiller*.

Sistem *Chiller* adalah suatu sistem pendingin yang menggunakan cairan sebagai media pendingin (umumnya air) pada sistem sekunder dimana evaporator pada sistem primer mendinginkan cairan (*chilled water*) pada siklus sekunder yang akan digunakan untuk mendinginkan ruangan melalui AHU (*Air Handling Unit*). Sistem primer merupakan unit pendingin utama dengan Siklus Kompresi Uap yang terdiri dari komponen-komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Pada sistem *chiller* terjadi proses pengeluaran dan penyerapan panas. Air yang masuk ke *chiller* akan didinginkan, dan disirkulasi oleh pompa menuju AHU. Di unit ini terjadi proses pertukaran kalor antara udara dengan air dingin. Udara dingin yang keluar dari unit ini akan disirkulasi oleh fan menuju ruangan yang dikondisikan, *chiller* harus tetap hidup selama unit pengolah udara dijalankan.

Penggunaan energi listrik untuk sistem AC pada bangunan gedung berkisar 45% – 66% energi listrik. Jelas bahwa biaya pemakaian energi listrik sangat tinggi, sesuai dengan kenaikan beban pendinginannya. Biaya penggunaan energi listrik makin besar pada jam-jam puncak (*night time*) karena pada jam-jam tersebut tarif listrik lebih tinggi daripada tarif listrik jam-jam biasa (*day time*).

Penggunaan *thermal energy storage* pada sistem *chiller* membantu penghematan pemakaian energi listrik untuk keperluan AC rumah. Berbeda dengan sistem *chiller* pada umumnya, *brine* (cairan pendingin sekunder) yang mengalir ke sistem *chiller* akan didinginkan dan kemudian disirkulasikan sebagian menuju AHU dan sebagian lainnya ke *thermal energy storage*. Pada *thermal energy storage* terjadi pertukaran kalor antara *brine* dalam alat penukar kalor dengan air atau cairan dalam *thermal storage* dan diharapkan semua air atau cairan di sekeliling permukaan pipa alat penukar kalor di dalam *storage* berubah fasa menjadi es dengan ketebalan tertentu. Kemudian siklus sirkulasi *brine* berubah dari *thermal energy storage* menuju unit pengolah udara sedangkan *chiller* dalam kondisi mati. Pemakaian listrik pada saat itu hanya untuk menghidupkan pompa saja. Oleh karena itu waktu kerja *Chiller* perlu disesuaikan dengan waktu kerja *thermal energy storage* sehingga diharapkan pemakaian listrik dapat

seminimal mungkin (*Energy Efficient*). Idealnya pada jam – jam puncak (*on peak*) *chiller* tidak dinyalakan dan beban pendinginan diatasi oleh *thermal energy storage*, akibatnya pemakaian listrik pada jam puncak berkurang (*energy efficient*) [2].

Siklus kompresi uap merupakan siklus yang terbanyak digunakan dalam siklus refrigerasi/siklus mesin pendingin [3]. Refrigeran yang digunakan dalam siklus tersebut terutama adalah refrigeran halokarbon, yang secara teknis cukup baik, apalagi refrigeran jenis ini tingkat racun dan tingkat mampu nyalanya rendah. Namun pada pertengahan tahun 1970-an diketahui bahwa klorin yang terdapat dalam refrigeran halokarbon yang terlepas ke lingkungan dapat merusakkan lapisan ozon di stratosfir. Hal ini akan berdampak pada lingkungan, dimana radiasi UV intensitas tinggi yang mencapai bumi sebagai akibat perusakan lapisan ozon dapat menimbulkan kanker kulit[3].

Untuk mengoperasikan mesin refrigerasi dibutuhkan refrigeran sebagai fluida kerja. Refrigeran yang paling banyak digunakan adalah refrigeran halokarbon (*halogenated refrigerant*) salah satunya adalah jenis *HCFC-22 (Hydrochlorofluorocarbon)* atau R-22 [4]. Namun dari hasil penelitian, refrigeran halokarbon R-22 menunjukkan sifat yang berdampak buruk terhadap lingkungan. R-22 dapat merusak lapisan ozon dan berpotensi besar terhadap peningkatan efek pemanasan global, sehingga penggunaan refrigeran tersebut dicanangkan untuk dihapuskan pembuatan dan pemakaiannya [5].

Salah satu refrigeran alternatif pengganti refrigeran halokarbon R-22 adalah refrigeran hidrokarbon (*hydrocarbon referigerant*). Beberapa kelebihan yang dimiliki refrigeran hidrokarbon substitusi R-22 yaitu dapat digunakan sebagai pengganti langsung (*drop in substitute*) tanpa penggantian komponen, ramah lingkungan (tidak merusak lapisan ozon), pemakaian refrigeran lebih sedikit, hemat energi listrik (20%), dan memenuhi standar internasional [6].

*Chiller* lebih umum digunakan pada bangunan gedung, pusat perkantoran dan pusat perbelanjaan. Penggunaan *chiller* di bangunan rumah (*residential*) masih sangat sedikit dilakukan, umumnya rumah menggunakan beberapa *AC split* untuk beberapa ruangan rumah yang perlu disejukkan. Penggunaan *chiller* berbasis mesin pendingin kompresi uap menggunakan *hydrocarbon refrigerant* yang ramah lingkungan yang dikombinasikan dengan penggunaan *Encapsulated Ice Thermal Energy Storage* di bangunan rumah yang menggunakan lebih dari 1 *AC split* dapat menghemat penggunaan energi listrik (*Energy Efficient*) [7].

## ***Thermal Energy Storage***

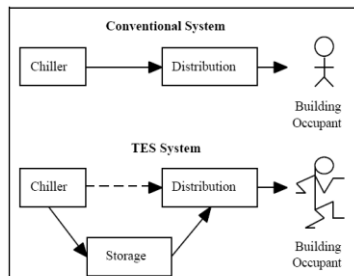
Tujuan utama penggunaan *thermal energy storage* adalah untuk mengurangi penggunaan energi pada kondisi beban puncak. Pada beban puncak (*on peak*) biaya pemakaian energi listrik lebih mahal dari pada biaya pemakaian listrik pada beban rendah (*off peak*). *Thermal Energy Storage* adalah teknologi penyimpanan energi dingin dalam suatu media penyimpan kalor (*thermal storage*). Gambar 1 menunjukkan penyimpan energi sistem pengkondisian udara atau sistem pendinginan pada bangunan terdiri dari tiga komponen utama. Sedangkan pada sistem pendinginan konvensional memiliki dua komponen utama yaitu :

- *Chiller* untuk membuat air atau cairan menjadi dingin

- Sistem distribusi untuk mendistribusikan air dingin atau cairan dingin dari *chiller* ke ruangan untuk menghasilkan udara dingin untuk melayani gedung.

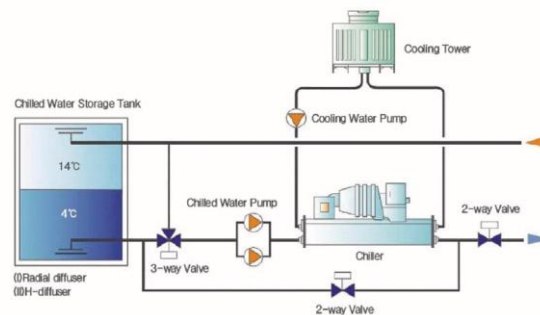
Tabel 1. Profil Penggunaan Energi Pada Bangunan (SNI 03-6196-2000).

Jenis Peralatan	Penggunaan Energi (%)
Air Conditioning	66.0
Pencahayaan	17.4
Lift	3.0
Pompa Air	4.9
Lain-Lain	8.7



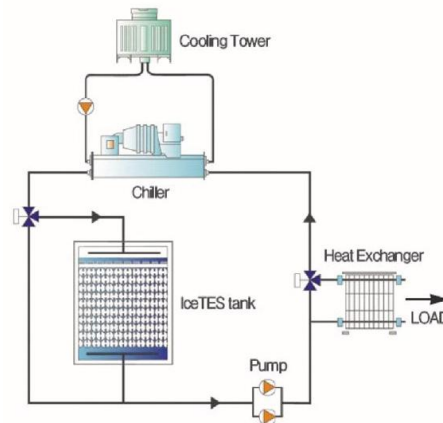
Gambar 1. Komponen utama untuk sistem pendinginan [8]

Pada sistem konvensional, *chiller* digunakan hanya saat bangunan membutuhkan udara dingin. Pada sistem penyimpanan dingin, *chiller* dapat digunakan sewaktu-waktu ketika udara dingin dibutuhkan untuk melayani gedung [8].



Gambar 2. TES dengan *Water Tank Storage* [9]

*Thermal Energy Storage* merupakan media tempat penyimpanan energi dalam bentuk panas. Panas atau kalor yang disimpan bisa berupa kalor sensibel maupun kalor laten. *Thermal energy storage* dapat dibedakan menjadi 2 tipe jika dilihat dari media penyimpanannya yaitu *thermal Water Tank storage* dan *thermal Ice Storage*. *Thermal Water Tank storage* merupakan *thermal energy storage* yang paling sederhana dan kalor disimpan dalam bentuk kalor sensibel (air). Waktu diluar jam puncak sistem, *thermal energy storage* menyerap kalor sensibel dan menyimpannya, kemudian kalor tersebut akan dipergunakan pada waktu jam puncak.

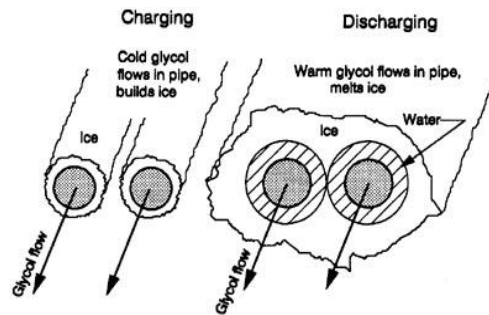


Gambar 3. TES dengan *Thermal Ice Storage* [9]

*Thermal Ice Storage* merupakan *thermal energy storage* yang menyimpan kalor dalam bentuk kalor laten (es). Dibandingkan dengan kalor sensibel air, kalor laten air lebih besar, yaitu 80 kal./gr atau 4180 J/kg. Sehingga volume penyimpanan kalor laten lebih kecil dibandingkan dengan volume penyimpanan kalor sensibel. Akibatnya investasi *thermal ice storage* lebih murah daripada *thermal water tank storage* [2].

### ***Ice Freezing on Coil, Coil Melt***

Sistem *ice freezing on Coil*, pada sistem ini cairan *ethylene glycol* bertemperatur rendah mengalir dalam koil sehingga air di sekitar koil membeku (es). Selama *charging mode* cairan *ethylene glycol* dari *chiller* mengalir ke dalam koil untuk membekukan es dan selama *discharging mode* es pada koil mencair dengan mensirkulasikan cairan *ethylene glycol* ke beban pendingin pada kondisi sistem *chiller off* [10].

Gambar 4. *Ice on coil* [10]

## 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 [6]. 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) [5]. Perangkat pengkondisian udara umumnya menggunakan refrigeran halokarbon jenis R22, sebagai alternatif pengganti maka digunakan refrigeran hidrokarbon pengganti R22 (*HCR22*).

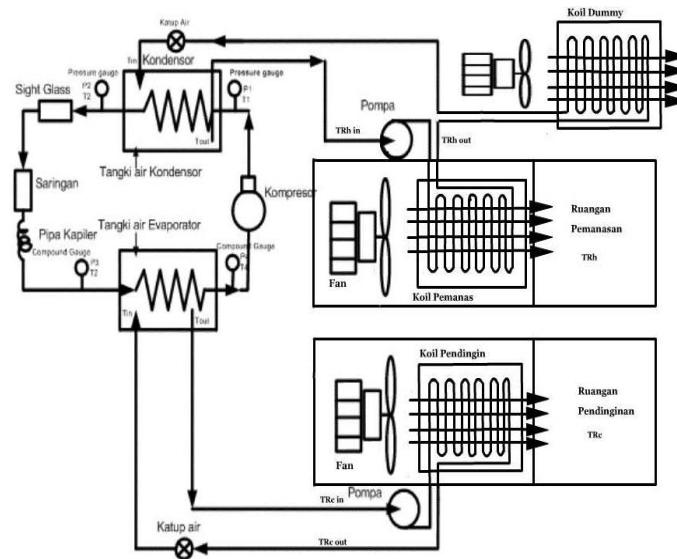
## 2. Metodologi

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 pengering, sebuah koil pendingin



dan pemanas serta satu buah katup solenoid. Skema sederhana fasilitas pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fasilitas Pengujian Mesin Refrigerasi

### Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan pada pengujian ini meliputi tahapan berikut ini:

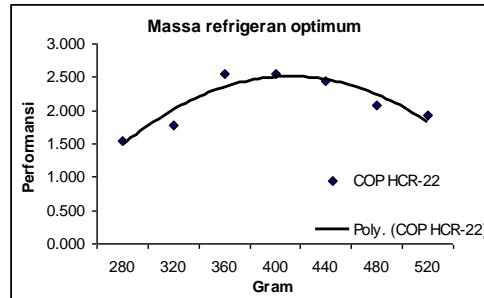
1. Pengurusan instalasi dengan melakukan proses pemvakuman.
2. Pemeriksaan kebocoran instalasi dengan melakukan pemvakuman.
3. Pengisian Refrigeran. Pengisian refrigeran dilakukan dalam fasa cair melalui saluran isap kompresor. Pengisian dilakukan dalam fasa cair karena hidrokarbon merupakan campuran 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.



### 3. Hasil dan Pembahasan

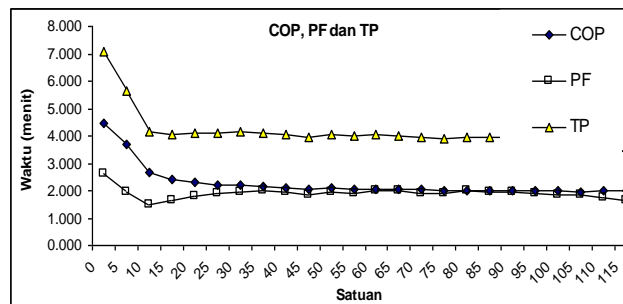
#### 3.1. Massa Refrigeran HCR22 Optimum



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.

#### 3.2. Kinerja/Performansi Mesin Refrigerasi Hibrida (COP,PF,TP) (Perhitungan Sisi Refrigeran Sekunder)

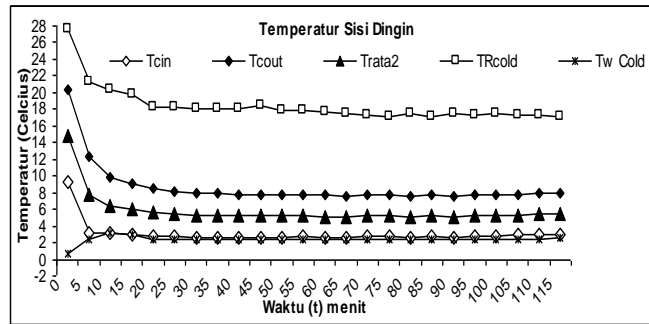


Gambar 7. COP, PF dan TP mesin refrigrasi hibrida dengan refrigeran HCR22

Pada gambar 7 dapat dilihat bahwa COP dan PF relatif hampir sama setelah kondisi mesin stabil, karena, PF di sini dihitung berdasarkan panas buang yang digunakan di ruang pemanas, tidak berdasarkan panas buang keseluruhan. PF tidak memperhitungkan panas yang dibuang di koil panas dummy.

#### 3.3 Temperatur pada Sisi Dingin Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Hibrida

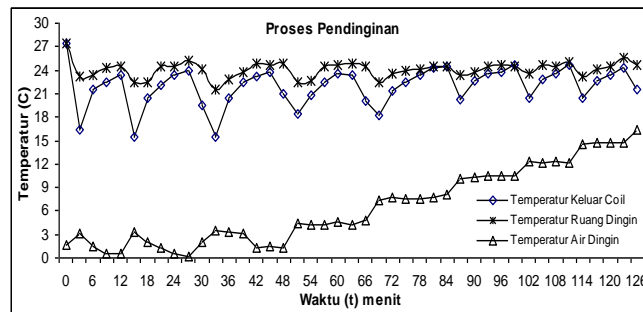
Pada gambar 8 dapat dilihat temperatur sisi dingin pada mesin pendingin yang diuji. Nampak bahwa temperatur sisi dingin relatif stabil setelah waktu pengoperasian mesin selama 30 menit, setelah itu temperatur sisi dingin cenderung stabil. Beda temperatur rata-rata antara ruang pendingin dengan temperatur rata-rata koil pendingin berkisar 5 °C.



Gambar 8. Temperatur sisi dingin mesin dengan refrigeran HCR22

### 3.4 Kondisi Temperatur pada Fungsi Tangki Air Dingin sebagai Thermal Energy Storage (*Ice on Coil* pada sistem *Chilled Water*)

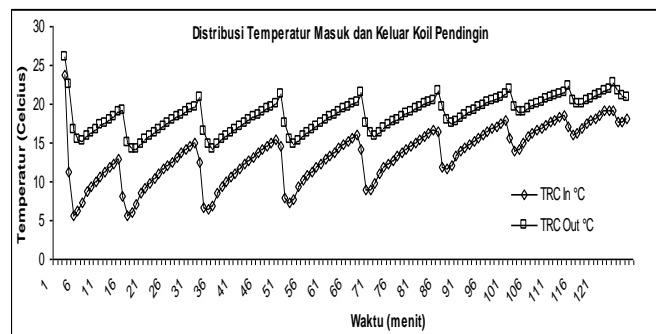
Pada pengujian ini mesin refrigerasi hibrida dijalankan untuk mendinginkan koil pendingin (evaporator) sampai sebagian besar koil pendingin ditutupi dengan es (tebal es lebih kurang 1 cm). Temperatur air pada tangki air dingin yang berkapasitas 45 liter setelah lebih kurang 1 jam menjadi 0 °C.



Gambar 9. Temperatur keluar koil, ruang dingin dan air dingin

Distribusi temperatur pada ruang pendingin, keluar koil pendingin dan temperatur air di tangki pendingin dapat dilihat pada gambar 9. Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa temperatur ruang dingin cenderung naik turun pada temperatur berkisar antara 23 °C – 25 °C. Demikian juga dengan temperatur keluar koil pendingin, turun naik terjadi karena temperatur ruang disetel pada temperatur 24 °C, sehingga kerja pompa air dingin akan berhenti pada temperatur ruang sekitar 23 °C dan pompa bekerja kembali pada temperatur ruang sekitar 25 °C. Daya pompa yang digunakan sekitar 110 Watt, atau sekitar 17 % dari daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor.

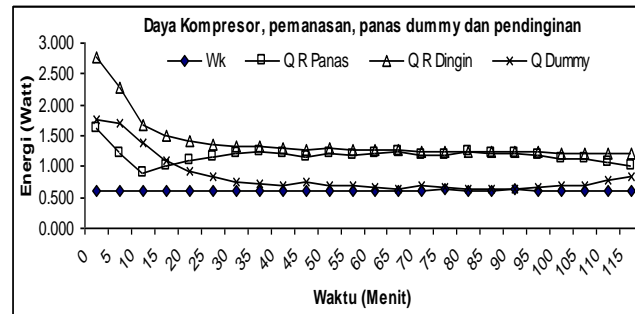
Distribusi temperatur saat masuk koil pendingin dan keluar koil pendingin dapat dilihat pada gambar 10. Pada kondisi tersebut tampak bahwa temperatur air masuk koil pendingin dan keluar koil pendingin naik turun pada beda temperatur rata-rata berkisar 5 °C. Hal ini terjadi bersamaan dengan mati dan hidupnya pompa air dingin yang akan mengalirkan air dingin tersebut ke koil pendingin. Temperatur air masuk dan keluar koil pendingin akan naik secara linear seiring makin naiknya temperatur dingin akibat pertukaran kalor di ruang pendingin.



Gambar 10. Distribusi temperatur masuk dan keluar koil pendingin

Pada pengujian ini, mesin dapat bekerja sekitar 2 jam pada kondisi temperatur ruang yang disetel pada 24 °C. Untuk pemakaian lebih dari 2 jam maka perlu tangki air dingin yang lebih besar sehingga dapat mendinginkan ruang lebih lama. Perlu kajian lebih lanjut untuk mengetahui hubungan antara lamanya pendinginan tangki air dingin dengan volume tertentu dengan lama pendinginan pada ruang pendingin.

Pada gambar 11 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.



Gambar 11. Daya kompresor, daya pemanasan dan daya pendinginan

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan massa optimum refrigeran hidrokarbon HCR22 pada mesin kompresi uap hibrida ini 400 gram pada COP 2,546.
2. Beda temperatur rata-rata antara koil pendingin dengan temperatur ruang pendingin berkisar 0-5 °C.
3. Penggunaan tangki air dingin kapasitas 45 liter sebagai *thermal energy storage* dengan temperatur awal 0 °C pada kondisi *ice on coil* dapat mempertahankan ruang dingin pada temperatur 24 °C selama 120 menit.
4. Daya yang dibutuhkan untuk mendinginkan ruangan hanya sekitar 17 % dibandingkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kompresor

#### 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] Arora, C. P., *Refrigeration and Air Conditioning*, Mc Graw-Hill International Edition, 2001.
- [2] Tjitro, Soejono; Sunandar, Herry, *Pemakaian Thermal Storage pada Sistem Pengkondisi Udara*, Jurnal Teknik Mesin, Vol. 1, no. 1. UK Petra, Surabaya, hal 19 – 23, 1999.
- [3] Stoecker, W.F., Jones J.W., *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1996.
- [3] Moran, M.J., Saphiro, H.N., *Fundamental of Engineering Thermodynamycs*, 3<sup>rd</sup> ed, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1995.
- [4] Agarwal, Radhey S., *Retrofitting of Domestic and Small Capacity Commercial Refrigeration Appliances Using Hydrocarbon Blends*, Seminar on ODS Phase-Out: Solutions for the Refrigeration Sector, Kuta, 1997.
- [5] Pasek, A.D., Tandian, Adriansyah W., *Training of Trainer Refrigeration Servicing Sector*, Training Manual, ITB, Bandung, 2004.
- [6] 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.
- [7] Hauer, Andreas, *Innovative Thermal Energy Storage Systems for Residential Use*, Bavarian Center for Applied Energy Research, ZAE Bayern, 2008.
- [8] Wilson, Pete., *Source Energy and Environmental Impact of Thermal*, California Energy Commision, 1996.
- [9] Anonim, *Green Building Design Guide*, Air Conditioned Building.
- [10] *Thermal Storage System*, Takasago Thermal Eng, Co. Ltd.