

Penggunaan *Thermal Energy Storage* sebagai Penyejuk Udara Ruangan dan Pemanas Air pada *Residential Air Conditioning* Hibrida

Azridjal Aziz^{1,a*}, Herisiswanto^{2,b}, Rahmat Iman Mainil^{3,c},

Eko Prasetyo^{4,d}

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Jl. Subrantas km 12,5, Pekanbaru, 28293, Indonesia

^aazridjal@yahoo.com, ^bheri_ft_unri@yahoo.ac.id, ^crahmat.iman@gmail.com,

^deko_prasetyour@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan *Thermal Energy Storage* (TES) pada *Residential Air Conditioning* (RAC) di instalasi *chiller* dan pemanfaatan panas buang di kondensor untuk pemanasan air akan mempengaruhi kinerja mesin pengkondisian udara. Berbeda dengan sistem konvensional, brine (cairan pendingin sekunder) akan didinginkan di *chiller* dan kemudian disirkulasikan sebagian menuju TES, sebelum digunakan (proses *charging*), selanjutnya brine di TES akan disirkulasikan ke koil pendingin di ruangan yang dikondisikan (proses *discharging*). Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh penggunaan TES hibrida sebagai penyejuk udara ruangan dan pemanas air terhadap kinerja mesin pengkondisian udara. Hasil penelitian menunjukkan, terjadi penghematan energi pada penggunaan TES sebagai penyejuk udara ruangan (*discharging*) dibanding proses konvensional, sekaligus pemanfaatan panas buang kondensor untuk kebutuhan air panas selama proses *charging*. Penerapan sistem TES dan pemanas air pada mesin pengkondisian udara memungkinkan untuk dilakukan, namun terjadi biaya awal investasi yang lebih besar dibanding sistem AC konvensional (standar).

Kata kunci : *Thermal Energy Storage, Residential Air Conditioning, discharging, chille*

Pendahuluan

Air Conditioning (AC) adalah suatu mesin pendingin sebagai sistem pengkondisi udara yang digunakan dengan tujuan untuk memberikan rasa nyaman bagi penghuni yang berada dalam suatu ruangan/gedung. AC tidak hanya berfungsi untuk memberikan perasaan dingin tetapi yang lebih penting adalah memberikan rasa kenyamanan (*comfort air conditioning*) yaitu suatu proses perlakuan termodinamik terhadap udara untuk mengatur suhu, kelembaban, kebersihan, dan pendistribusiannya secara serentak guna mencapai kondisi nyaman yang dibutuhkan oleh penghuni yang berada di dalamnya [1].

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*). 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. Penggunaan *thermal energy storage* pada sistem *chiller* akan 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* dengan air atau cairan dalam kemasan plastik (*encapsuled ice*), dan diharapkan semua air atau cairan dalam kemasan plastik (*encapsuled ice*) di dalam storage berubah fasa menjadi es. 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 [2].

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 [3]. Refrigeran halokarbon R-22 menunjukkan sifat yang berdampak buruk terhadap lingkungan dapat merusak lapisan ozon dan berpotensi pemanasan global, sehingga penggunaan refrigeran tersebut dicanangkan untuk dihapuskan pembuatan dan pemakaiannya [4].

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 [5].

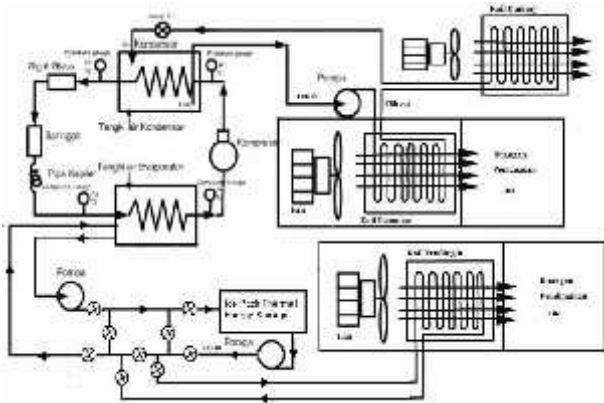
Chiller lebih umum digunakan pada bangunan gedung, pusat perkantoran dan pusat perbelanjaan. Penggunaan *chiller* di bangunan rumah (*residential*) masih sangat sedikit dilakukan, umumnya rumah menggunakan beberapa *AC split* untuk beberapa ruangan rumah yang perlu disejukkan. Penggunaan *chiller* berbasis 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*) [6-10]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan TES hibrida sebagai penyejuk udara ruangan dan pemanas air terhadap kinerja mesin pengkondisian udara residential (*Residential Air Conditioning*) hibrida.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu tahap persiapan penelitian berupa studi literatur terhadap konsep sistem pendingin kompresi uap yang menggunakan refrigeran hidrokarbon substitusi R-22, dan kombinasi dengan konsep *encapsuled ice thermal energy storage* untuk sistem pengkondisian udara (AC) rumah. Selanjutnya tahap rancangan prototipe sistem, tahap pembuatan prototipe sistem, tahap uji eksperimental dan pengumpulan data, tahap analisis data, kemudian terakhir adalah

pernyataan hasil yang dapat disimpulkan dari penelitian ini.

Instalasi Alat Uji

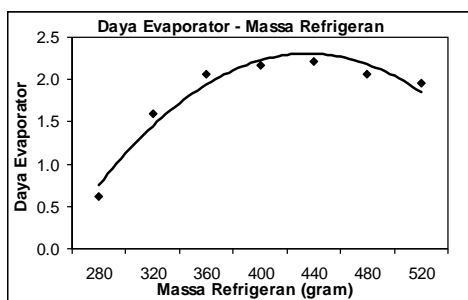


Gambar 1. Instalasi Alat Uji Mesin Refrigerasi Kompresi Uap Hibrida dengan sistem *Thermal Energy Storage* menggunakan *Encapsulated Ice Pack*

Instalasi ini merupakan instalasi mesin pendingin kompresi uap hibrida yang berfungsi sebagai mesin pendingin pada lemari pendingin dan pompa kalor pada lemari pengering. Untuk instalasi siklus primer (siklus refrigeran), kompresor, *sight glass*, *filter drier*, katup ekspansi, kondensor dan evaporator ditempatkan di atas meja dudukan. Sedangkan koil pendingin, koil pemanas, pompa air sirkulasi, ditempatkan di bagian bawah meja dudukan alat.

Hasil dan Pembahasan

Massa Optimum Refrigeran Hidrokarbon HCR-22



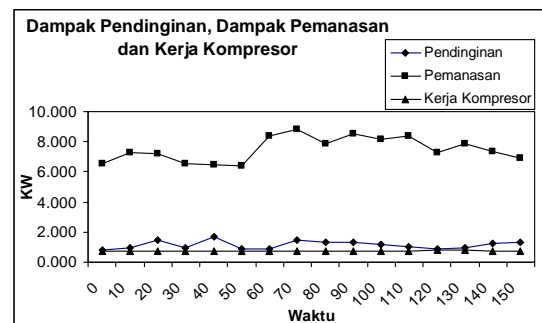
Gambar 2. Grafik massa refrigeran HCR-22 optimum dan daya evaporator

Penggunaan refrigeran HCR-22 massa refrigeran lebih hemat 51,2 persen dari massa refrigeran R-22 [8]. Pada gambar 2 terlihat bahwa massa refrigeran optimum HCR-22 sebesar 440 gram pada COP 2,221. Setelah penambahan massa refrigeran COP cenderung turun, hal ini disebabkan massa refrigeran yang bertambah mengakibatkan daya kompresor meningkat. Hal ini menyebabkan COP mesin menurun karena adanya pengaruh peningkatan daya kompresor. COP merupakan perbandingan atau rasio antara daya pendinginan di evaporator dibandingkan terhadap daya kompresor yang menggerakkan mesin pendingin.

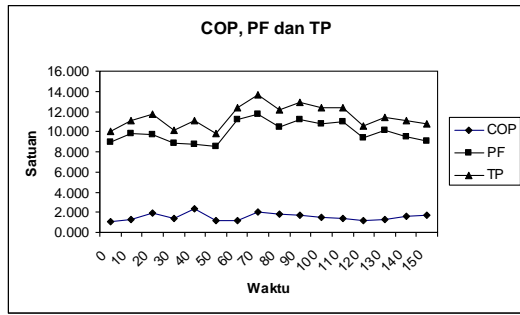
Proses Charging

Pada gambar 3 dapat dilihat dampak pendinginan rata-rata dari HCR-22 adalah 1,151 kW, dampak pemanasan rata-rata 7,502 kW dengan daya kompresor rata-rata 0,754 kW. COP rata-rata dari mesin pada proses Charging adalah 1,528, PF rata-rata adalah 9,945 dan T_p rata-rata adalah 11,473.

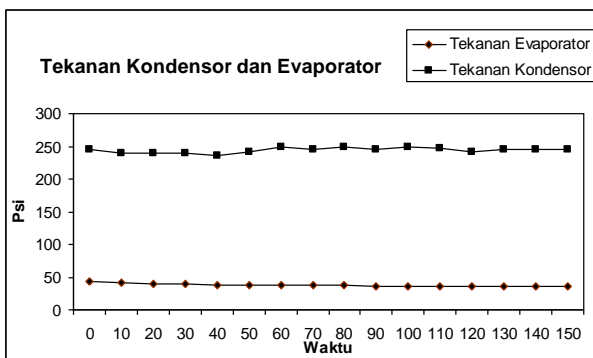
Tampak di sini bahwa pola kecenderungan Gambar 3 dan Gambar 4 memiliki kecenderungan yang sama, hal ini karena COP, PF maupun TP merupakan rasio daya pada evaporator atau panas yang dimanfaatkan di kompresor terhadap kerja kompresor secara keseluruhan.



Gambar 3. Dampak pendinginan, dampak pemanasan dan kerja kompresor

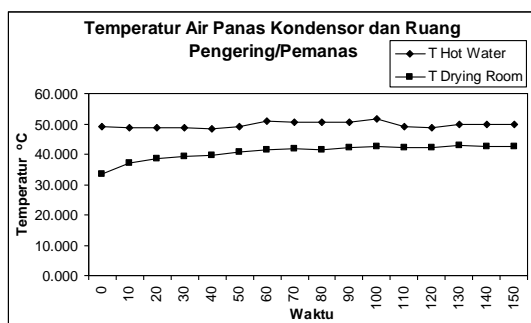


Gambar 4. COP, PF dan TP mesin refrigerasi hibrida dengan *Thermal Energy Storage (Ice Storage)*



Gambar 5. Tekanan kondensator dan evaporator

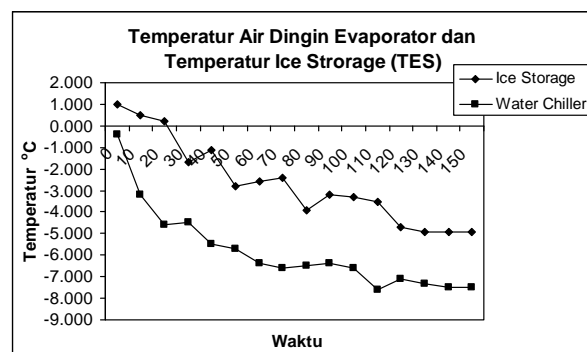
Tekanan kerja pada kondensator dan evaporator seperti tampak pada Gambar 5 adalah tekanan rata-rata kondensator 245 psi dengan tekanan evaporator rata-rata 38 psi. Tekanan kerja evaporator cenderung turun dari tekanan standarnya yaitu 70 psi, hal ini terjadi karena temperatur di tangki evaporator /water chiller berada pada temperatur rata-rata -6°C , sedangkan tekanan standar pada sistem refrigerasi berada temperatur rata-rata 10°C .



Gambar 6. Temperatur ruang pengering/pemanas dan temperatur air panas di tangki kondensator

Pada Gambar 6. dapat dilihat rata-rata temperatur air panas adalah $49,7^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur ruang pengering/pemanas pada temperatur $40,7^{\circ}\text{C}$. Temperatur ini diperoleh pada tekanan kondensator rata-rata 245 psi. Selisih antara temperatur air panas dan temperatur ruangan berkisar 10°C , selisih ini terjadi karena adanya rugi-rugi kalor/panas saat terjadinya proses pertukaran kalor dan distribusi air panas di koil pemanas di ruang pemanas/pengering.

Temperatur temperatur air dingin rata-rata di evaporator adalah $-5,8^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur terendah pada $-7,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan temperatur air dingin di *Ice Storage* rata-rata $-2,6^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur terendah $-4,9^{\circ}\text{C}$ (Gambar 7). Temperatur tersebut didapatkan pada tekanan rata-rata evaporator 38 Psi.

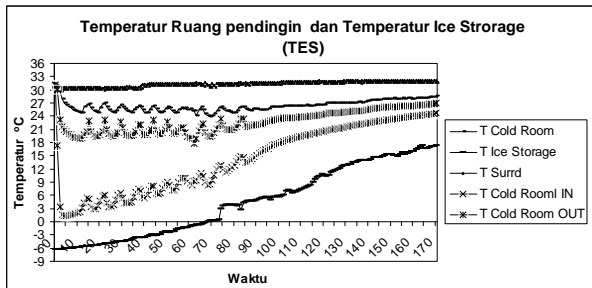


Gambar 7. Temperatur air dingin di evaporator dan temperatur *Ice Storage*

Proses *DisCharging*

Pada Gambar 8 kondisi temperatur yang diperoleh pada proses *discharging*, temperatur terendah pada *ice storage* perlahan-lahan naik seiring terjadinya pertukaran kalor antara air dingin di koil pendingin di ruang pendingin dengan temperatur di ruang pendingin. Proses pendinginan pada saat *disCharging* berlangsung selama 170 menit, dimana proses pendinginan di evaporator saat *Charging* berlangsung selama 150 menit, sehingga terdapat penghematan penggunaan pendinginan selama 20 menit, atau penghematan daya kompresor dikurangi daya

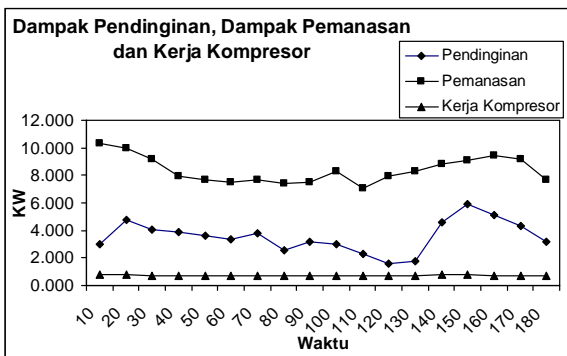
pompa sebesar 0,6 kW. Penggunaan refrigeran hidrokarbon HCR-22 juga dapat menghemat daya kompresor sekitar 25% - 30%, sehingga terjadi penghematan energi yang cukup berarti pada sistem *Ice Storage*.



Gambar 8. Temperatur ruang pendingin dan temperatur *Ice Storage*

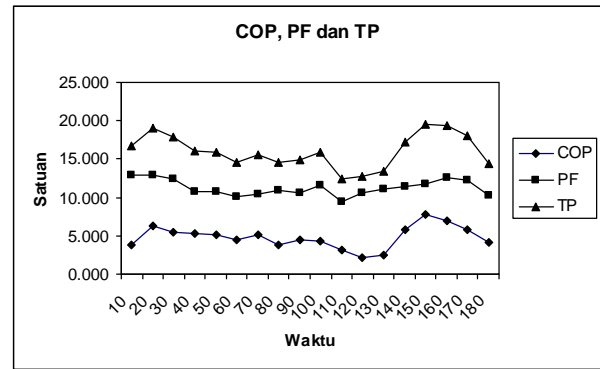
Proses Konvensional/*Evaporator Chiller*

Pada gambar 9 dapat dilihat dampak pendinginan rata-rata dari HCR-22 adalah 3,383 kW, dampak pemanasan rata-rata 8,847 kW dengan daya kompresor rata-rata 0,748 kW.



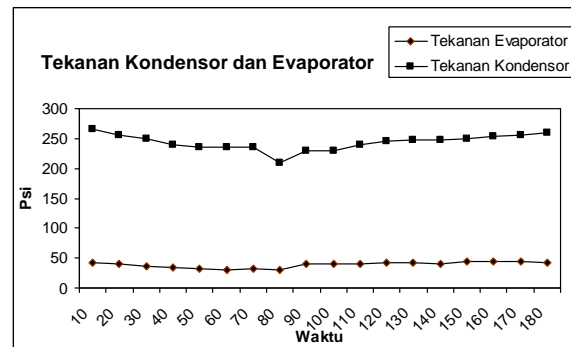
Gambar 9. Dampak pendinginan, dampak pemanasan dan kerja kompresor

COP rata-rata dari mesin pada proses Charging adalah 4,544, PF rata-rata adalah 11,315 dan T_p rata-rata adalah 15,859. Tampak di sini bahwa pola kecenderungan gambar 9 dan gambar 10 memiliki kecenderungan yang sama, hal ini karena COP, PF maupun TP merupakan rasio daya pada evaporator atau panas yang dimanfaatkan di kompresor terhadap kerja kompresor secara keseluruhan.



Gambar 10. COP, PF dan TP mesin refrigerasi proses konvensional

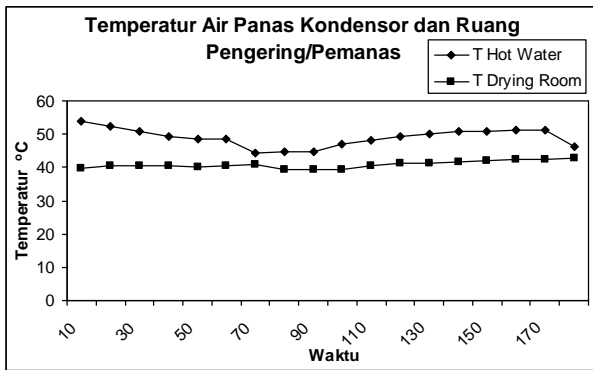
Tekanan kerja pada kondensor dan evaporator seperti tampak pada Gambar 11 adalah tekanan rata-rata kondensor 245 psi dengan tekanan evaporator rata-rata 39 psi. Tekanan kerja evaporator cenderung turun dari tekanan standarnya yaitu 70 psi, hal ini terjadi karena temperatur di tangki evaporator /*water chiller* berada pada temperatur rata-rata -3 °C, sedangkan tekanan standar pada sistem refrigerasi berada temperatur rata-rata 10 °C.



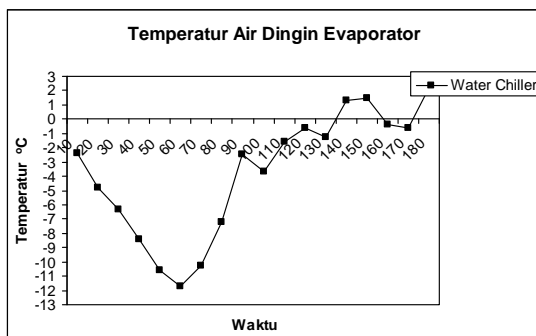
Gambar 11. Tekanan kondensor dan evaporator

Pada Gambar 12 dapat dilihat rata-rata temperatur air panas adalah 49,3 °C dengan temperatur ruang pengering/pemanas pada temperatur 40,7 °C. Temperatur ini diperoleh pada tekanan kondensor rata-rata 245 Psi. Selisih antara temperatur air panas dan temperatur ruangan berkisar 10 °C, selisih ini terjadi karena adanya rugi-rugi kalor/panas saat terjadinya proses pertukaran kalor dan

distribusi air panas di koil pemanas di ruang pemanas/pengering.

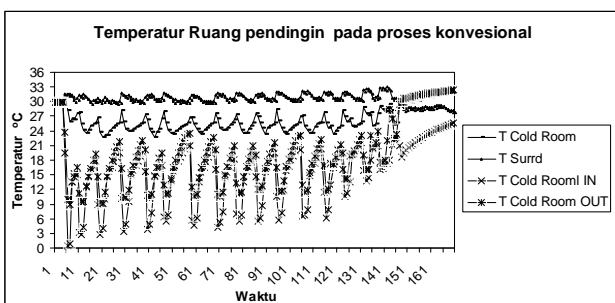


Gambar 12. Temperatur ruang pengering/pemanas dan temperatur air panas di tangki kondensator



Gambar 13. Temperatur air dingin di evaporator pada proses konvensional

Temperatur temperatur air dingin rata-rata di evaporator adalah $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan temperatur terendah pada $-11,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, seperti dapat dilihat pada Gambar 13. Sedangkan temperatur ruang dingin rata-rata adalah $26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ seperti dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Temperatur ruang pendingin pada proses konvensional

Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dapat diambil kesimpulan bahwa massa refrigeran hidrokarbon HCR-22 yang digunakan pada sistem adalah sebesar 440 gram pada COP 2,221 dengan daya kompresor 0,526 kW.

Terjadi penghematan waktu pendinginan selama 20 menit antara proses *Charging* dan proses *DisCharging*, dengan penghematan daya listrik untuk operasional sistem 0,6 kW. Pada proses *Charging* terjadi pemanfaatan panas buang kondensator untuk keperluan pemanasan (*energy efficient*). Terjadi pemanfaatan panas buang untuk keperluan pemanasan (*energy efficient*), pada proses konvensional selama proses pendinginan berlangsung.

Penambahan koil pemanas dummy menjaga kestabilan kerja sistem pada pemanfaatan panas buang untuk keperluan pemanasan. Penerapan sistem *ice storage* untuk keperluan pendinginan di rumah tangga memungkinkan untuk dilakukan, namun terjadi biaya awal investasi yang lebih besar dibanding sistem AC Split standar.

Referensi

[1] W.F. Stoecker, dan J.W. Jones, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Erlangga1994, Jakarta.
 [2] Soejono Tjitro dan Herry Sunandar, , Pemakaian Thermal Storage pada Sistem Pengkondisi Udara, Jurnal Teknik Mesin, 1 (1999) 19-23.
 [3] Agarwal, Radhey S., Retrofitting of Domestic and Small Capacity Commercial Refrigeration Appliances Using Hydrocarbon Blends, Proceedings Seminar on ODS Phase-Out: Solutions for the Refrigeration Sector, Kuta, 1997.
 [4] Pasek, A.D.,Tandian, N.P., Adriansyah W., Training of Trainer Refrigeration Servicing Sector, Training Manual, ITB, Bandung, 2004
 [5] A.D. Pasek dan N.P. Tandian, , *Short Course on the Applications of Hydrocarbon Refrigerants*, International Conference on

Fluid and Thermal Energy Conversion 2000, Bandung, 2000.

[6] Hauer, Andreas, Innovative Thermal Energy Storage Systems for Residential Use, Bavarian Center for Applied Energy Research, ZAE Bayern, 2008.

[7] Azridjal Aziz dan Afdhal Kurniawan Mainil, Penggunaan *Encapsulated Ice Thermal Energy Storage* Pada *Residential Air Conditioning* Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R-22 Yang Ramah Lingkungan, Jurnal Teknik Mesin, 7 (2010) 92-98.

[8] Azridjal Aziz, Kinerja Perangkat Pengkondisian Udara Siklus Kompresi Uap Hibrida pada Massa Refrigeran Hidrokarbon HCR22 Optimum, Jurnal Sains dan Teknologi, 6 (2006) 1-11.

[9] Komang Metty Trisna Negara, Hendra Wijaksana, Nengah Suarnadwipa, dan Made Sucipta, Analisa Performansi Sistem Pendingin Ruangan dan Efisiensi Energi Listrik pada Sistem *Water Chiller* dengan Penerapan Metode *Cooled Energy Storage*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra, 4 (2010) 43-50.

[10] Shaowei Wang, Zhenyan Liu, Yuan Li, Keke Zhao, dan Zhigang Wang, Experimental study on split air conditioner with new hybrid equipment of energy storage and water heater all year round, Energy Conversion and Management, 46 (2005) 3047–3059.